

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ
Katedra kontroly a řízení jakosti

VYUŽITÍ VYBRANÝCH MATEMATICKÝCH A STATISTICKÝCH METOD K
VYHODNOCOVÁNÍ DAT SPJATÝCH S OBLASTÍ KVALITY

USE OF SELECTED MATHEMATICAL AND STATISTICAL METHODS FOR DATA
ANALYSIS RELATED TO THE AREA OF QUALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra kontroly a řízení jakosti

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Lucie Tesařová

Studijní program:

N3922 Ekonomika a řízení průmyslových systémů

Studijní obor:

3902T041 Management jakosti

Téma:

Využití vybraných matematických a statistických metod
k vyhodnocování dat spjatých s oblastí kvality
Use of Selected Mathematical and Statistical Methods for Data Analysis
Related to the Area of Quality

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická východiska řešené problematiky.
2. Popis vybraných postupů matematických a statistických metod vhodných pro oblast managementu kvality.
3. Aplikace vybraných postupů v oblasti managementu kvality.
4. Doporučení, závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. HÁTLE, J.; LIKEŠ, J. Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky. Druhé vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury a Nakladatel'stvo Alfa Bratislava, 1974. 464 s.
2. TOŠENOVSKÝ, J.; NOSKIEVIČOVÁ, D. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava: Montanex a.s., 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.
3. NOVÁK, Vilém. Základy fuzzy modelování. Vyd. 1. Praha: BEN, 2000, 176 s. ISBN 80-730-0009-1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

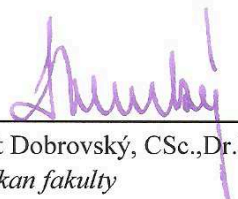
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Mgr. Petra Halfarová, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 22.04.2013



prof. Ing. Jiří Plura, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Zásady pro vypracování diplomové práce

I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 5. Obsah DP |
| 2. Zásady pro vypracování DP | 6. Textová část DP |
| 3. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 7. Seznam použité literatury |
| 4. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 8. Přílohy |

ad 1) Titulním listem je originál zadání DP, který student obdrží na své oborové katedře.

ad 2) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za titulním listem. („Zásady pro vypracování diplomové práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 3) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníky a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 4) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 5) Obsah DP se uvádí na zvláštním listě. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 6) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 8).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 7) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 8) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně vělnit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Diplomová práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem magisterského, resp. navazujícího magisterského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2012/2013.

Ostrava 30. 11. 2012


Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 22.4.2013


podpis (jméno a příjmení studenta)

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování bych chtěla věnovat především mé vedoucí diplomové práce Ing. Mgr. Petře Halfarové, Ph.D. za ochotu a spolupráci při řešení této diplomové práce. Taktéž za cenné rady a zkušenosti, které mi poskytla. Ráda bych chtěla poděkovat své rodině za podporu a povzbuzení do práce během celého studia.

ABSTRAKT

Cílem práce bylo systematizovat přístupy vybraných matematických a statistických metod a to konkrétně využití fuzzy logiky pro vybrané metody. Mezi tyto metody lze zařadit metodu FMEA a metodu QFD, jejich popis a principy využití v oblasti kvality.

První část diplomové práce se zabývá popisem fuzzy logiky. Je zde vysvětlena její základní definice a procesy zpracování. Další část se zabývá metodou FMEA (Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků). Zde je popsána tradiční metoda FMEA a její další inovativní přístupy. Třetí část pojednává o uvedeném principu, přehledu aplikací a vývoji metody QFD (Quality Function Deployment) česky také „dům kvality“. V poslední části je aplikace metody QFD a metody FMEA pomocí přístupu fuzzy logiky na konkrétních příkladech.

Klíčová slova: FMEA, fuzzy, QFD, logika, metoda, kvalita, přístup, proces

ABSTRACT

The object of this thesis was to systematize the approaches of the selected mathematical and statistical methods, namely the use of fuzzy logic for selected methods. These methods include QFD and FMEA, their description and applications in the field of quality.

The first part of this thesis describes the fuzzy logic. This part explains its basic definition and processing. The next part deals with method FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). We can find the description of traditional method FMEA and its other innovative approaches here. The third section provides a principle and overview of the application and development of QFD (Quality Function Deployment), "house of quality" in the Czech sense. The last part contains the application of the methods QFD and FMEA using fuzzy logic in specific example.

Key words: FMEA, fuzzy logic, QFD, method, quality, approach, process

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	- 9 -
ÚVOD	- 10 -
1 Fuzzy logika	- 11 -
1.1 Základní definice fuzzy logiky	- 11 -
1.2 Práce s fuzzy čísly	- 14 -
1.3 Užití fuzzy logiky pro slovní vyjádření	- 15 -
1.4 Procesy fuzzy zpracování	- 15 -
2 Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků (FMEA)	- 17 -
2.1 Typická metoda FMEA	- 17 -
2.2 Metody FMEA.....	- 18 -
2.2.1 MCDM přístup	- 18 -
2.2.2 Přístupy matematického programování.....	- 21 -
2.2.3 Přístupy umělé inteligence	- 22 -
2.2.4 Integrované přístupy	- 25 -
2.2.5 Ostatní přístupy	- 26 -
2.3 Výhody a nevýhody	- 29 -
3 Zavedení fuzzy logiky v oblasti QFD	- 31 -
3.1 Metoda QFD	- 31 -
3.2 Přehled QFD aplikací a jejich vývoj.....	- 32 -
3.3 Vyjádření závislosti mezi požadavkem zákazníka a znakem jakosti	- 34 -
3.4 Aplikace QFD	- 36 -
3.5 Aplikace metody FMEA.....	- 47 -
ZÁVĚR.....	- 52 -
LITERATURA.....	- 53 -

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AHP	Analytická hierarchie procesu
ART	Adaptivní teorie rezonance
BRM	Logický charakter metody
DEA	Údaje analýzy obalu
DEMATEL	Rozhodování a hodnocení zkušebních laboratoří
ER	Důkazní rozhodování
FCMs	Kognitivní mapy
FMEA	Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků
FMECA	Účinky vad a jejich kritický rozbor
FRPNs	Fuzzy rizika prioritních čísel
GRRS	Pravidelné prohlídky systému redukce
ISM	Interpretační strukturální model
MAFMA	Multi-atribut způsobu selhání analýzy
MCDM	Více-kriteriální rozhodování
MOI	Metoda nepřesnosti
PA	Výrobní architektura
QFD	Zákaznický orientovaný vývoj výrobku
RPC	Riziko prioritního kódu
RPN	Rizikové číslo priorit
RPRs	Rizika prioritních pozic
TOPSIS	Technika pro pořadí podle preference podobnosti ideálního řešení

ÚVOD

Dnešní doba velice inklinuje jak na kvalitu výrobku tak služeb. Pomocí vybraných matematických a statistických metod, lze tuto kvalitu vyhodnotit. A tím zabránit výrobě zmetků a poskytování neshodných výrobků. Velice důležité je se zabývat hlasem zákazníka tedy jeho požadavkům a splňovat je.

Mezi tyto nástroje se řadí také fuzzy logika, v současné době snad jako nejpopulárnější neklasickou logikou. V praxi je velmi zapotřebí rozhodovat se na základě vágních údajů. A tak se fuzzy logika používá v řadě oblastí od regulace až po umělou inteligenci. Fuzzy regulátory praček jsou téměř samozřejmostí. Fuzzy regulace se začíná používat ve stále širších oblastech, od fuzzy fokusu některých kvalitnějších fotoaparátů, přes elektronické matematické převodovky až po zpětnovazební kontrolu v jaderných elektrárnách. K úspěchům inteligence patří vyřešené úlohy udržení stability převráceného kyvadla. Fuzzy logika se uplatňuje i v náročnějších oblastech, jako je rozeznávání řeči, či předvídání chování finančních trhů.

Ovšem tato diplomová práce se zabývá fuzzy logikou, její krátkou historií, základní definici fuzzy logiky a procesy pro fuzzy zpracování. V další části diplomové práce lze vidět popis a přístupy metody FMEA a taktéž metody QFD. Poslední část se zabývá ukázkou aplikace přístupu fuzzy logiky pro metody FMEA a QFD.

1 Fuzzy logika

Pokud se rozhodneme využít metody matematického modelování, setkáme se s nepříjemnou překážkou. Jednak je to přílišná složitost reality, kdy nejsme schopni matematický model vůbec sestavit, nebo naopak je model natolik složitý, že je v praxi nepoužitelný. Na druhé straně to je jistá „neurčitost“, která způsobuje neschopnost přesně realitu definovat. Pokud použijeme přirozený jazyk, pak tato neurčitost není překážkou – vlastností tematiky je nejasnost a schopnost s těmito nejasnými pojmy pracovat. Ovšem klasická matematika se s tímto problémem neurčitosti nevyrovnala. Částečným řešením tohoto problému je oblast matematiky, která se dnes nazývá teorie fuzzy množin. Svět kromě několika specialistů nevěnoval teorii fuzzy množin po jejím zveřejnění pozornost. Teprve v 70. letech se tento pojem dostal do povědomí vědecké veřejnosti a začaly se ve větší míře vydávat práce s touto tematikou.[5],[19]

Teorie množin definuje množinu jako soubor prvků určitých vlastností. Prvek potom do množiny patří, nebo ne (0 nebo 1). Jde tedy pouze o dva stavy. Slovo „fuzzy“ znamená něco jako šťapatý, ochmýřený nebo načechraný. V některých publikacích se používá překlad neostrý, matný, mlhavý, rozmazaný, neurčitý... Odpovídá tomu i fakt, že teorie fuzzy logiky se snaží pokrýt realitu v její nepřesnosti a neurčitosti.

L. Zadeh vytvořil teorie fuzzy množin a fuzzy logiky, kdy se určuje, „jak mnoho“ prvek do množiny patří, nebo ne (proměnná x a její příslušnost k množině se značí μ_x) a je definována v rozmezí 0-1: 0 znamená úplné ne členství a 1 úplné členství). Užití míry členství odpovídá v řadě situací lépe než užití konvenčních způsobů zařazování členů do množiny podle přítomnosti či nepřítomnosti. Fuzzy logika tedy měří jistotu nebo nejistotu příslušnosti prvku k množině. Obdobně se rozhoduje člověk při činnosti v oblasti (duševní a fyzické u ne zcela algoritmizovaných činností. Pomocí fuzzy logiky lze najít řešení pro daný případ z pravidel, která byla definována pro podobné případy. Metoda užívající nezřetelných množin (fuzzy), patří mezi metody, jež se používají v oblasti řízení firem. Kromě aplikací z fuzzy logiky se lze setkat i s kombinovanými systémy, např. s neuronovými sítěmi tzv. neurofuzzy aplikacemi apod.[5]

1.1 Základní definice fuzzy logiky

Při definici fuzzy množin postupujeme takto: nejprve definujeme množinu U nazvanou univerzem. To může být množina prvků libovolného druhu. *Fuzzy množina* je z matematického pohledu funkce

$$A: U \rightarrow [0,1]. \quad (1)$$

Řečeno slovy, fuzzy množina je tvořena prvky x vybíranými z množiny U , $x \in U$, z nichž každý prvek má přiřazeno číslo (z definice zobrazení) $a \in [0,1]$ nazýváme stupeň příslušnosti prvku x do fuzzy množiny A . Funkce A se někdy nazývá *stupeň příslušnosti*. To znamená, že fuzzy množina je ztotožněna se svou funkcí příslušnosti. Stupeň příslušnosti prvku $x \in U$ do fuzzy množiny A se zapisuje jako $\mu_A(x)$.

Důležitou roli v teorii fuzzy množin hraje α -řez. Pod pojmem α -řez rozumíme množinu prvků majících stupeň příslušnosti větší nebo rovnou zadanému stupni α . Tuto množinu získáme z fuzzy množiny A „odřezáním“ všech prvků se stupněm příslušnosti menším než α . Matematický zápis:

$$A_\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2)$$

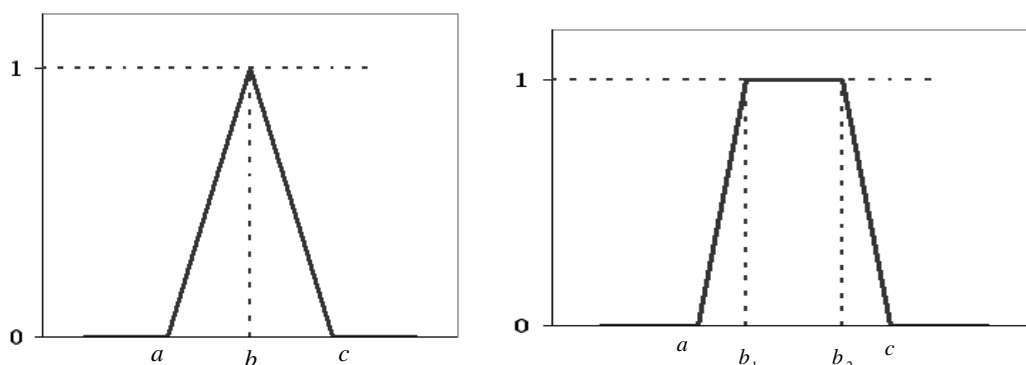
Fuzzy čísla jsou speciální fuzzy množiny v univerzu reálných čísel. Fuzzy číslo intuitivně reprezentuje hodnotu, která je nepřesná, tj. hodnotu, kterou lze slovně charakterizovat jako „asi pět“, „kolem deseti“, „přibližně 1 km“, apod. Taková čísla nejsou nijak výjimečná. Právě naopak je mnoho oblastí, kde se pracuje s čísly, jež jsou fuzzy.

Z matematického hlediska jsou fuzzy čísla konvexní fuzzy množiny se spojitou funkcí příslušnosti a existují body $a_1 \leq a'_0 \leq a''_0 \leq a_2$ takové, že platí:

- a) $\forall x \in (-\infty, a_1) \cup (a_2, +\infty)$ je $\mu_A = 0$;
- b) μ_A je rostoucí na $\langle a_1, a'_0 \rangle$ a klesající na $\langle a''_0, a_2 \rangle$;
- c) $\mu_A(a_1) = 0$, $\mu_A(a_2) = 0$ a $\forall x \in \langle a'_0, a''_0 \rangle$ je $\mu_A(x) = 1$.

Přitom může být $a_1 = -\infty$, $a_2 = \infty$, a $a'_0 = a''_0$

Speciálním a nejpoužívanějším typem fuzzy čísel jsou tzv. *trojúhelníková fuzzy čísla*. Není to nic jiného, než fuzzy čísla, jejichž funkce příslušnosti má tvar trojúhelníka. Zpravidla jsou krajní parametry a , c umístěny symetricky kolem hodnoty b . To znamená, že funkce příslušnosti tvoří rovnoramenný trojúhelník. Dalším hojně využívaným tvarem je trapeziodní fuzzy množina ve tvaru lichoběžníku.[27]



Obrázek 1: Funkce příslušnosti trojúhelníkové a trapezoidní fuzzy množiny s významnými parametry.

Na obrázku 1 jsou zobrazeny funkce příslušnosti trojúhelníkové a trapezoidní fuzzy množiny s označením významných parametrů a , b , c , b_1 , b_2 . Tyto parametry mají následující přirozenou interpretaci:

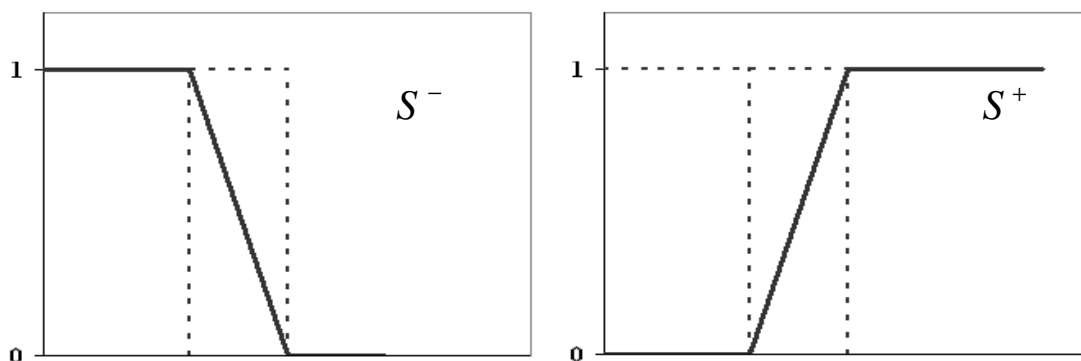
- a , c vyznačují meze, za nimiž určitě není pravda, že objekt x lze označit daným jazykovým výrazem. (oblast mezi (a, c) se nazývá nosič fuzzy množiny)
- body b_1 , b_2 označují meze, pro které platí, že pro všechny objekty x ležící mezi nimi je určitě pravda, že je lze označit daným jazykovým výrazem. (tento interval (b_1, b_2) se označuje jako jádro specifické fuzzy množiny).

Tyto fuzzy množiny (Obrázek 1) jsou jedny z nejjednodušších, které můžeme využít. Je ovšem mít na paměti, že tato zobrazení jsou zjednodušená, a neodpovídají dostatečně skutečnému jazykovému výrazu, ovšem pro náš účel použití v rámci QFD dostačující.

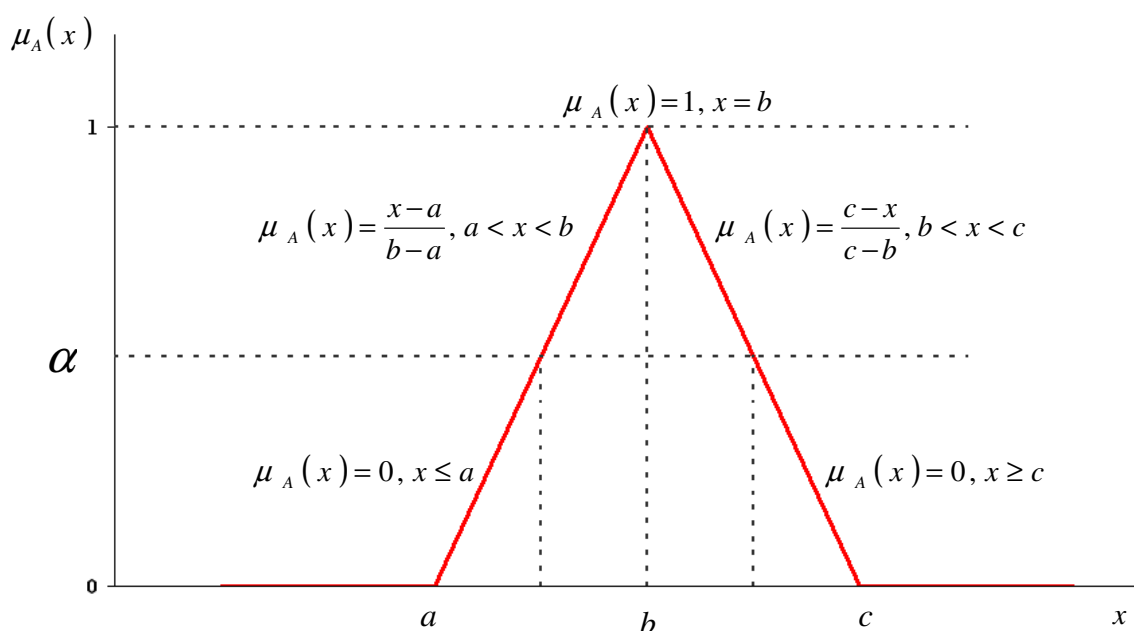
Matematický předpis a případné jiné značení pro trapezoidní fuzzy množinu je tento:

$$\mu_A(x) = P(x, a, b_1, b_2, c) = \begin{cases} (x-a)/(b_1-a), & a \leq x \leq b_1, \\ (c-x)/(c-b_2), & b_2 \leq x \leq c, \\ 1 & b_1 \leq x \leq b_2, \\ 0 & x < a \vee x > c \end{cases} \quad (3)$$

Je zřejmé, že trojúhelníková fuzzy množina je speciálním případem trapezoidní fuzzy množiny, kdy $b_1 = b_2$. Taktéž fuzzy množiny označované S^+ a S^- se dají zjednodušit ze svého tvaru písmene „S“ do zjednodušených tvarů na Obrázku 2.



Obrázek 2: Funkce příslušnosti fuzzy množiny tvaru S křivky - S^+ a S^- .



Obrázek 3: Znáznornění funkce příslušnosti trojúhelníkového fuzzy čísla s využitím vzorce (3). [39]

1.2 Práce s fuzzy čísly

V teorii fuzzy množin je vyvinuta základní *aritmetika s fuzzy čísly* (sčítání, odčítání, násobení a dělení) a také jiné složitější operace. Obecně vychází aritmetika fuzzy čísel z tzv. principu rozšíření. Ten zde není uveden, pro přímý výpočet je tento princip nevhodný. Proto se převádí do vhodnějšího tvaru, který využívá některých speciálních vlastností a vlastností α -řezů.

α -řez je množina prvků majících stupeň příslušnosti větší nebo roven zadanému stupni α . Tuto množinu získáme z fuzzy množiny „odřezáním“ všech prvků se stupněm příslušnosti menším než α . Protože α -řezy fuzzy čísel jsou souvislé intervaly, lze aritmetické operace s fuzzy čísly převést na operaci s jejich řezy. Např. součet $Z_1 \oplus Z_2$ dvou fuzzy čísel Z_1 a Z_2 se vypočítá na základě vztahu

$$(Z_1 \oplus Z_2)_\alpha = (Z_1)_\alpha + (Z_2)_\alpha, \quad \alpha \in [0, 1] \quad (3)$$

To znamená, že uvažujeme všechny α -řezy obou fuzzy čísel, které sčítáme. Výsledkem jsou pak α -řezy fuzzy čísla, které je jejich součet. Připomeňme, že pro intervaly reálných čísel platí

$$[a, b] + [c, d] = [a + c, b + d]. \quad (4)$$

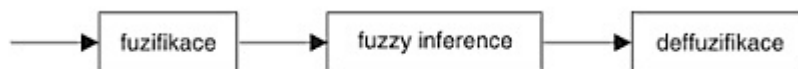
Jinou možností, jak počítat s fuzzy čísly, je využití explicitních vztahů odvozených z principu rozšíření, což ovšem zatím nevyužiji.

1.3 Užití fuzzy logiky pro slovní vyjádření

V celém našem životě jsou velmi důležité tzv. evaluační jazykové výrazy, což jsou výrazy, které reprezentují nějakou hodnotu na uspořádané škále (tedy nějaké číslo), nebo charakterizují nějakou pozici na ní, tj. např. „vlevo“, „více vpravo“... Zahrnují také i jazykové výrazy atomické, např. „malý“, „velký“, „střední“. Tato slova se velmi dobře dají vyjádřit pomocí fuzzy čísel, resp. funkcí příslušnosti.

1.4 Procesy fuzzy zpracování

Tvorba systému s fuzzy logikou obsahuje tři základní kroky: fuzzifikaci, fuzzy inferenci a defuzzifikaci - viz obrázek 4.



Obrázek 4: Rozhodování řešené fuzzy zpracováním

První krok znamená převedení reálných proměnných na jazykové proměnné. Definování jazykových proměnných vychází ze základní lingvistické proměnné, např. u proměnné riziko lze zvolit následující atributy: žádné, velmi nízké, nízké, střední, vysoké, velmi vysoké riziko. Obvykle se používá tří až sedmi atributů základní proměnné. Stupeň

členství: atributů proměnné v množině je vyjadřován: matematickou funkcí. Existuje mnoho tvarů těchto členských funkcí. Typy, které našly v praxi největší uplatnění, se nazývají standardními funkcemi členství a patří k nim typy: A, π , Z a S zobrazené na obrázku 5.



Obrázek 5: Tvary členských funkcí typu A, π , Z a S

Druhý krok definuje chování systému pomocí pravidel typu <Když>, <Potom> na jazykové úrovni. V těchto algoritmech se objevují podmínkou větami, vyhodnocující stav příslušné proměnné.

Výsledkem fuzzy inference je jazyková proměnná. V případě analýzy rizika mohou mít atributy hodnotu např. velmi nízké, nízké, střední, vysoké, velmi vysoké riziko atd., což může vést k výstupům jako investici provést ano, ne.

Třetí krok převádí výsledek předchozí operace fuzzy inference na reálné hodnoty. Reálnou akcí může být stanovení výše rizika. Cílem defuzzifikace je převedení fuzzy hodnoty výstupní proměnné tak, aby slovně co nejlépe reprezentovala výsledek fuzzy výpočtu. Při postupném zadávání dat funguje systém s fuzzy logikou jako automat. Na vstupu může být mnoho proměnných. [5]

2 Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků (FMEA)

Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků (FMEA), byla vyvinuta jako formální metodika návrhu v roce 1960 v leteckém a kosmickém průmyslu. Ukázalo se, že je to výkonný a užitečný nástroj v posuzování potenciálních nedostatků a bránící jejich výskytu. FMEA je analytická technika pro definování, identifikaci a odstranění známe a / nebo potenciální poruchy, problému, a dále chyby systému, designu, procesu a / nebo služby, než se dostanou k zákazníkovi. Pro identifikaci poruchy s významnými důsledky ovlivňující funkci systému se používá metoda (FMEA).

Hlavním cílem FMEA je identifikovat potenciální způsoby poruch, vyhodnocení příčin a důsledky různých druhů selhání komponent, a určují, co by mohlo eliminovat nebo snížit pravděpodobnost selhání. Výsledky z analýzy mohou pomoci analytikům identifikovat a opravit druhy poruch, které mají škodlivý vliv na systém a zlepšit jeho výkon v jednotlivých etapách návrhu a výroby. Od jeho zavedení jako podpůrný nástroj pro projektanty, FMEA byla značně použita v celé řadě průmyslových odvětví, včetně letectví, automobilovém průmyslu, jaderné, elektronické, chemické, mechanické a lékařské technologie průmyslu.

Tradičně se provádí kritický stav nebo posouzení rizik ve FMEA s rozvojem rizikového čísla priorit (RPN). Nicméně, RPN metoda ukazuje některé vážné nedostatky, když se FMEA používá v reálných případech. Proto bylo v literatuře navrženo mnoho alternativních přístupů k vyřešení některých nedostatků tradiční RPN metody a provádění FMEA do reálných situací efektivněji. [12]

2.1 Typická metoda FMEA

Tradiční metoda FMEA je důležitá technika, která se používá k identifikaci a odstranění známých nebo potenciálních nedostatků, pro zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti komplexních systémů a je určena k poskytování informací pro rozhodování řízení rizik.

Aby bylo možné analyzovat specifický produkt nebo systém, musí se nejdříve určit tým, který stanoví provádění FMEA. Prvním krokem ve FMEA je identifikování všech možných potenciálních způsobů selhání výrobku nebo systému u zasedání systematického brainstormingu. Po tomto kroku se provádí kritická analýza v těchto poruchových stavech s přihlédnutím rizikových faktorů: výskyt (O), závažnost (S) a detekce (D).

Účelem FMEA je upřednostňování druhů poruch produktu nebo systému, tak aby bylo přiřadit omezené zdroje k nejvíce vážnému riziku položek. Obecně platí, že stanovení priorit

poruchových režimů pro nápravná opatření je určena pomocí rizikového čísla priorit (RPN), která se získá tím, že vynásobíme O, S a D faktory. $RPN = O \times S \times D$, kde O je pravděpodobnost selhání, S je závažnost selhání, a D je pravděpodobnost neodhalení selhání. Pro získání rizikového čísla RPN jsou tři rizikové faktory hodnoceny pomocí 10-ti bodové stupnice. [27]

2.2 Metody FMEA

Metody lze dělit do pěti kategorií, které jsou:

- Multi-kritéria rozhodování (MCDM)
- Matematické programování (MP)
- Umělá inteligence (AI)
- Hybridní přístupy a další

2.2.1 MCDM přístup

Franceschini a Galetto představili multi-expertízu MCDM (ME-MCDM) pro provádění výpočtu rizika prioritních poruch ve FMEA, která je schopna se vypořádat s informacemi poskytnutými projektovým týmem, obvykle uvedena na kvalitativní měřítku, aniž by bylo nezbytné svévolné a umělé numerické konverze. V jejich metodě, byly interpretovány rizikové faktory jako kritéria vyhodnocení, zatímco druhy poruch jsou vybrány jako alternativy. Metoda zvažovala každé kritérium rozhodování jako fuzzy podmnožina, která byla vybrána jako soubor alternativ. Po seskupení vyhodnocení vyjádřené na každém kritériu pro danou alternativu, byly stanoveny způsoby selhání s maximálním rizikem prioritního kódu (RPC). Jestliže došlo ke dvěma nebo více selhání v jednom režimu, které mají stejný RPC, byl poskytnut podrobnější výběr k tomu, aby rozlišil jejich relativní pořadí.

FMEA byla také navržena pomocí skupin založených na důkazním odůvodnění (ER), aby zachytila týmovou rozmanitost názorů členů týmu a upřednostňovala selhání režimu v rámci různých typů nejistot, jako jsou neúplné posouzení, nevědomost a intervaly.

Yang, Huang, On, Zhu, a Wen také přijali důkazní teorii shromažďující hodnocení, aby získali informace rizik od několika odborníků. Nicméně, předpokládají-li se všechny jednotlivé stupně intervalu hodnocení, pak musí být čisté a na sobě nezávislé v jednom navrhovaném modelu.[32]

Braglia vyvinul multi-atribut selhání režimu analýzy (MAFMA) což je přístup založený na analytické hierarchii procesu (AHP) techniky, která pohlíží na rizikové faktory. O, S, D a očekávaná cena jsou rozhodovací kritéria, jejichž možné příčiny neúspěchu mohou být rozhodující alternativy a výběr příčin selhání jako rozhodovací cíl. Cíl, kritéria a alternativy tvořily tři úrovně hierarchie odborné matice použité k odhadu kritérií vah a místní priority příčin, v rámci očekávaného cenového atributu. Konvenční výsledky pro O, S a D byly normalizovány jako místní priority příčin, s ohledem na O, S a D, respektive váhová složení techniky AHP byla použita k syntetizování místní priority do globální priority, zařazených na možných příčinách selhání.

Dále spolu s Carmignani představili priority nákladů FMECA (PC-FMECA), které umožňují výpočet nové RPN a zavedení koncepce ziskovosti s přihlédnutím na nápravná opatření nákladů. Na druhé straně, Hu, Hsu, Kuo, a Wu uvedli zelenou složku rizik prioritou čísla (GC-RPN) k tomu, aby analyzovali rizika zelené složky na nebezpečné látky. Fuzzy AHP byla aplikována k určení relativních koeficientů z rizikových faktorů. Pak GCRPN bylo vypočteno pro každou jednu ze složek pro identifikaci a řízení rizik z nich vyrobené.

Vylepšenou verzí FMECA, tzv. analytická síť procesu (ANP) / RPN, která zvyšuje možnosti standardního FMECA s přihlédnutím možné interakce mezi hlavními příčinami neúspěchu v kritičnosti hodnocení, se zabýval Zammori a Gabrielli. Podle ANP / RPN modelu, O, S a D byly rozděleny do sub - kritérií a uspořádány v hybridu (hierarchie / síť), jako rozhodující struktura, která je na nejnižší úrovni a obsahuje příčiny selhání. Od tohoto rozhodnutí byly struktury RPN vypočítány po dvou srovnáních. V zájmu vyjasnění lze konečné výsledky uvést do grafického nástroje.[34]

Braglia, Frosolini, a Montanari představili alternativu multi-atribut jako přístup rozhodování nazvaný fuzzy technika na zakázku, pro řazení preferencí podle podobnosti ideálního řešení (TOPSIS) přístupu k FMECA. Tato alternativa zvažuje příčiny poruch, řazení alternativ, rizikové faktory O, S a D jako kritéria vztahující se k selhání režimu. Tyto nedostatky byly seřazeny dle důležitosti na základě měření alternativ euklidovské vzdálenosti s ideálním cílem. V navrhovaném fuzzy TOPSIS přístupu, byly posouzeny tři rizikové faktory a jejich odpovídající váhy významu pomocí trojúhelníkových fuzzy čísel, s uvedením konečného pořadí příčin poruch, které je snadné interpretovat.

Fuzzy metoda a šedá teorie pro metodu FMEA byla prezentována Chang, Wei, a Lee, kde byly fuzzy jazykové proměnné použité pro vyhodnocení rizikových faktorů O, S a D, a šedá relační analýza byla použita pro určení rizikových priorit z možných příčin. Provedení šedé relační analýzy, byly fuzzy jazykové proměnné hodnoceny jako ostré hodnoty a

definovány nejnižší úrovně tří rizikových faktorů jako standardní série a odhad informací ze tří rizikových faktorů pro každou potenciální příčinu, jež byla vnímána jako srovnávací série, jehož šedý relační koeficient a míra relace se standardními sériemi byly vypočteny z hlediska šedé teorie. Silnější stupeň relace znamená menší vliv potenciální příčiny. Proto, rostoucí pořadí stupňů relace, představuje zlepšení rizika priorit potenciálního problémů.

Šedou teorii využili také pro metodu FMEA. Ovšem relační stupně byly vypočteny za použití tradičních hodnot 1-10 pro tři rizikové faktory, spíše než fuzzy jazykových proměnných. Podobné aplikace fuzzy metody a šedé teorie pro stanovení priorit poruchových stavů ve FMEA lze také nalézt například v literatuře od Sharma, Kumara, Pillay a Wanga.

Geum, Cho a Park navrhli systematický přístup k identifikaci a vyhodnocení možných poruch pomocí služby specifické FMEA a šedé relační analýzy. Za prvé, specifická služba pro FMEA byla poskytnuta k tomu, aby odrážela provozní specifické vlastnosti, obsahující 3 rozměry a 19 sub-rozměrů představující provozní charakteristiky. Jako druhý krok, podle tohoto rámce provozní specifické FMEA, byla vypočítána riziková priorita každého režimu selhání pomocí šedé relační analýzy. V tomto dokumentu, byla použita šedá relační analýza s dvoufázovou strukturou: jeden pro výpočet hodnoty rizika každé velikosti: O, S a D, a druhý pro výpočet konečné priority rizik.[8]

Metoda DEMATEL (rozhodování zkušebního a experimentálního hodnocení) navrženou Seyed-Hosseini, Safaei, a Asgharpour stanovuje nové priority poruchových režimů v systému FMEA nápravných opatření. V navrhované metodice, selhání informací ve FMEA, byla popsána jako vážený diagram, kde uzly označují způsoby poruch nebo příčiny poruch a zaměřené připojení (hrany) uvádí společné účinky druhů poruch. Také váhy spojení ukazují stupeň nebo závažnost účinků jedné alternativy na jiné. Nepřímá vazba byla definována jako vztah, který by se mohl pohybovat pouze v rámci nepřímé cesty mezi dvěma alternativami, a znamenalo by to, že způsob selhání může být příčinou dalších výpadku. Alternativy, které mají větší vliv, kde se předpokládá vyšší priorita, se nazývá odesílatel a ti, kteří mají větší vliv, a kde se předpokládá nižší priorita, se nazývá tzv. přijímač. V důsledku toho, mohou být určeny priority alternativ, pokud jde o typ vztahů a závažnosti vlivů na další z nich.

Dále byl navržen přístup, který využívá filozofickou techniku fuzzy množin, žebříček pro nové stanovení priorit poruch v systému FMECA. Stanovený trojúhelník nových fuzzy množin pro každé jednotky poruchy byl definován podle zkušenosti odborníků. Vlivná síla každé jednotky pro systém zvýší spolehlivost celého systému. Na základě fuzzy analýzy stromu poruchových stavů byly vypočteny a navrženy definice dle Chang, Liao, a Cheng. Riziko selhání bylo nakonec seřazeno podle míry vlivu zavinění jednotlivých jednotek. V

poslední době Liu a Mao použili metodu VIKOR, kterou vyvinuli v rámci multi-kritéria optimalizace pro složité systémy, s cílem najít kompromisní prioritní pořadí poruch režimu podle rizikových faktorů v metodice FMEA. V metodice jazykové proměnné, byly pro vyjádření v lichoběžníkových nebo trojúhelníkových fuzzy čísel použity k posouzení hodnocení a vah rizikové faktory O, S a D. Rozšířená metoda VIKOR byla použita k určení rizikové priority chybových režimů, které byly identifikovány.[2]

2.2.2 Přístupy matematického programování

Wang, Chin, Poon, a Yang navrhuji fuzzy rizika prioritních čísel (FRPNs) pro stanovení priorit poruchových režimů k tomu, aby se vypořádali s problémem, který není realistický v reálných aplikacích a aby určili rizikové priority poruchových stavů pomocí FRPNs, protože předpokládají přesné hodnocení rizikových faktorů v jednotlivých režimech. V této práci byly FRPNs definovány jako fuzzy vážený geometrický průměr s fuzzy hodnocením pro O, S a D, a tento může být vypočítán pomocí úrovně souborů a modelů lineárního programování. FRPNs byly využívány pomocí těžiště defuzzifikační metodou. Pro účel klasifikace. Kromě toho, Gargama a Chaturvedi použili testovací úpravu vyhledávání algoritmu, spíše než přístup lineárního programování, stanovili vážený fuzzy geometrický průměr pro výpočet FRPNs. Chen a Ko definovali FRPNs jako fuzzy objednání váženého geometrického průměrování (FOWGA) ze tří rizikových faktorů.[14]

Garcia, Schirru, a Frutuoso Emelo představili fuzzy údaje zabalované analýzy (DEA) přístup k FMEA, ve kterém typické rizikové faktory O, S a D byly formované jako fuzzy množiny. Fuzzy předpoklady modelu DEA byly představeny v Lertworasirikulu, kde byla použita pro určení pořadí indexu mezi druhy poruch. Chang a Sun také použili model DEA ke zvýšení hodnocení schopnosti FMEA. Nicméně vstupy (O, S a D) analýzy FMEA byly ostré hodnoty (1-10), místo fuzzy množin v jejich navrhovaném modelu.

Chin, Wang, Poon, a Yang tvrdí, že přístup Garcia a spol. je výpočetně velmi složitý a také nemůže vytvořit úplné pořadí pro druhy poruch, které mají být upřednostněny. Na základě těchto argumentů, které navrhla metoda DEA založená na FMEA, bere v úvahu relativní důležitost váhy rizika faktorů, ale není nutné jej specifikovat subjektivně. Váhy byly stanoveny pomocí modelů DEA a lišily se od jednoho neúspěchu v jiném režimu. Navrhovaná FMEA měří maximální a minimální rizika jednotlivých způsobů selhání. Tato dvě rizika pak byly geometrickým průměrem, aby odrážela celkové riziko chybových režimů, které na základě těchto režimů mohou být upřednostněny poruchy. Neúplné a nepřesné informace o hodnocení rizikových faktorů byly brány v úvahu také v metodě FMEA.[16]

2.2.3 Přístupy umělé inteligence

2.2.3.1 Systém prvního pravidla

Tento pozměněný přístup k prioritám poruch v systému FMEA, předložili Sankar a Prabhu, který využívá řady 1-1000, tzv. rizikové priority pozic (RPRs). Reprezentovali rostoucí riziko z 1000 možných kombinací intenzit výskytu detekce. Těchto 1000 možných kombinací byly zaznamenány do tabulky podle odborníků v pořadí rostoucího rizika a mohly být reprezentovány ve formě "if-then" pravidel. Nedostatky, které mají vyšší hodnotu je poskytnuta vyšší priorita než ty, které mají nižší hodnotu.[26]

2.2.3.2 Fuzzy pravidlo-základní systém

Bowles a Pelaez popsali fuzzy logiku přístupem založeným na stanovení priorit selhání v systému FMECA, který používá jazykové proměnné, a které popisují O, S, D včetně rizikovitosti selhání. Vztahy mezi rizikovitostí a O, S, D byly charakterizovány pomocí fuzzy „if-then“ základního pravidla, které bylo vyvinuto od experta znalosti a odbornosti. Nové hodnocení pro O, S a D byly fuzzifikovány tak, aby odpovídala předpokladu každému možnému „if-then“ pravidlu. Všechna pravidla, která mají nějakou pravdu v jejich prostorech, byla propuštěna k tomu, aby přispěla k závěru fuzzy sadě. Fuzzy závěr byl pak defuzzifikován podle váženého průměru maximální metody (WMoM) jako pořadová hodnota rizika priority.

Podobný přístup fuzzy logiky pro analýzu kritického stavu byl navržen pány Mosse a Woodhouse. Na základě přístupů fuzzy logiky popsaných výše, Xu, Tang, Xie, Ho, a Zhu vyvinuli fuzzy FMEA posouzení systému pro plynový turbodmychadlový vznětový motor. Zafiropoulos a Dialynas představili fuzzy FMECA systém pro hodnocení napájení elektronických zařízení, jako je komutované napájení spotřeby energie v režimu SMPS. Chin, Chan, a Yang vyvinuli fuzzy FMEA výrobek na bázi konstrukčního systému nazvaného EIOÚ-1. Nepál, Yadav, Monplaisir, a Murat předložili obecný rámec FMEA pro zachycení poruch způsobených systémem / součástí interakcí na výrobku úrovně architektury (PA).

Kritičnost přístupu k posuzování vycházejících z kvalitativních pravidel, které poskytují pořadí rizik možných příčin selhání, byla představena odborníky Puente, Pino, Priore, a de la Fuente. Nová metodika rizikové prioritní třídy pro každou příčinu selhání ve FMEA, byla v závislosti na důležitosti přikládáné třemi rizikovými faktory (O, S a D) vztahujícími se k selhání režimu. Struktura kvalitativních pravidel byla v „if-then“ pravidlech a všech 125 pravidel ve FMEA uvedena ve formě trojrozměrného grafu. Za účelem

optimalizace rizik diskriminace schopnosti různých příčin neúspěchu, upravené verze techniky integrace s fuzzy logikou.

Pillay a Wang navrhli základní přístup fuzzy pravidel, který nevyžaduje užitečnou funkci definovat O, S a D, kterou považovali za analýzu. Toho bylo dosaženo použitím informací získaných od odborníků a jejich integrace do formálního způsobu odrážející subjektivní metodu pořadí rizik. Navrhovaný přístup musí nastavit jako první funkce tři rizikových faktorů O, S a D. Každému z druhů poruch byla pak přiřazena jazyková proměnná reprezentující tři rizikové faktory. Použitím fuzzy pravidla byla vytvořena základna, a tyto tři proměnné byly integrovány na výrobu jazykové proměnné představující klasifikaci rizik všech druhů poruch.

Yang, Bonsall, a Wang představili fuzzy založené na pravidlech odůvodnění (FuRBaR) přístupu ke stanovení priorit selhání ve FMEA. Tato technika byla speciálně vyvinuta pro některé z nevýhod týkajících se využívání tradiční fuzzy logiky (Tj. pravidlo - based) metody ve FMEA. Subjektivní stupeň domněnky byla přiřazena do vyplývající části pravidel, k tomu, aby modelovala neúplnost ve vytváření znalostí based. Bayesianův mechanismus úvahy byl pak použit pro shromáždění všech příslušných předpisů pro posuzování a upřednostnění potenciálu druhů poruch.[33]

Gargama a Chaturvedi navrhli fuzzy FMEA model pro stanovení priorit poruchových režimů založených na stupni utkání a fuzzy pravidla - based, aby překonali některá omezení tradiční metody FMEA. Navrhovaný model zaměstnal strukturu domněnky pro posouzení rizikových faktorů, aby se poté převáděly náhodnosti v hodnocení informací do konvexního normalizovaného fuzzy čísla. Míra utkání (DM) byla použita k odhadu přizpůsobení mezi hodnocením informací a fuzzy rizikových faktorů. Tento výpočetní DM se pak stal vstupem do fuzzy pravidla - based systémů, kde byly zpracovány pravidla vedoucí k selhání klasifikace s jistotou. Fuzzy RPN režimy obvykle vyžadují velký počet pravidel, a to je časově náročný a zdoluhavý proces získávání pravidel z domény odborníků v budování fuzzy „if-then“ pravidla - based. Proto Braglia a Bevilacqua navrhli použití AHP pro získávání pravidel pro konkrétní fuzzy model kritičnosti posouzení. Dalším charakteristickým rysem tohoto modelu je použití trojúhelníkového přístupu jako "ostré" vstupy ve fuzzy modelu pro hodnocení různých názorů zaměstnanců údržby.

Braglia, Frosolini, a Montanari navrhli rizikovou funkci, která umožňuje fuzzy pravidlo „if-then“, které bude vygenerované automatickým způsobem. Riziko funkce spojuje normalizované RPN hodnoty získané každou kombinací s režimem hodnot každé členské

funkce pro každé rizikové faktory s odpovídajícími jazykovými proměnnými sad konečného selhání rizika hodnocení, kde byly normalizované RPN definovány jako $RPN / 1000$.

Tay a Lim tvrdí, že ne všechna pravidla skutečně vyžadují fuzzy model RPN a navrhli prohlídky pravidel systému redukce (GRRS), aby poskytly pokyny pro uživatele, které pravidla jsou zapotřebí a které mohou být odstraněny. Tím, že zaměstná GRRS, uživatelé nemusí poskytnout všechna pravidla, ale pouze ta nejdůležitější při sestavování fuzzy „if-then“ pravidla - based. Autoři Tay a Lim také používají fuzzy pravidla interpolace a techniky redukování navržením vážených fuzzy modelů RPN. Prokázali schopnost váženého Fuzzy RPN modelu v selhání hodnocení rizik s omezením pravidel základny. Pravidlo snížení metody bylo použito v mnoha jiných výzkumech, kde převládalo snížení velikosti fuzzy „if-then“ základny.

Bylo vytvořeno celkem 125 pravidel, když byl navrhovaný přístup aplikován běžným rybářským plavidlem na oceánu. Nicméně tato pravidla byla kombinována a celkový počet pravidel ve fuzzy pravidlech základny byla snížena na 35 pravidel. Sharma a spol. dali dohromady 27 fuzzy „if-then“ pravidel v jejich fuzzy FMEA pro systém dodávky v papírně, a snižuje celkem 125 fuzzy if-then pravidel na 30 pravidel v aplikacích do jiných systémů papíren, jako rozvlákňování systému, tvarování a tiskové systémy, mycí zařízení, papír, sušička apod. Podobné pravidlo snížení bylo také aplikováno od Guimarães a Franklina v jejich aplikaci fuzzy FMEA do pomocného zdroje vodního systému ze dvou smyček tlakovodního reaktoru (PWR), chemického PWR a ovládání systému (CVCS).[9]

2.2.3.3 Fuzzy ART algoritmus

Keskin a Ozkan použili fuzzy adaptivní teorie rezonance (Fuzzy ART) neuronové sítě pro hodnocení RPN ve FMEA. Ve studii výskytu závažnosti a detekce hodnoty, které tvoří RPN hodnotu, byla hodnocena zvlášť pro každý vstup. RPN hodnoty byly složeny ze vstupů a každý vstup do svého vlastního byl prezentován jako O, S a D do systému. V každém případě vstup se skládá ze tří údajů (O, S a D), které byly předloženy do systému účinných parametrů výsledných hodnot získaných při použití metody FMEA na testovacích problémech. Na závěr byl aritmetickým průměrem ze vstupních hodnot z každé získané poruchy rozdělen do tříd pro stanovení priority.[18]

2.2.3.4 Fuzzy kognitivní mapy

Pela'ez a Bowles použili fuzzy kognitivní mapy (FCMs) pro modelování chování systému FMEA. FCM diagram reprezentoval kauzalitu poruch se selháním uzlu s příčinnou

souvislou cestou. Cesta byla popsána pomocí jazykové proměnné jako "některé, vždy, často" a byla zadána relativní váha pro každou dobu. Závěr min-max přístupu byl použit při hodnocení čisté příčinný a vlivu na daném uzlu. Znamenalo to maximální použití metody jako defuzzifikační techniky pro extrahování výsledné spolehlivosti hodnoty na jazykových proměnných.

2.2.4 Integrované přístupy

Zhang a Chu popsali fuzzy metodu RPNs založenou pro FMEA jako nejistotu začlenění váženou nejméně čtvereční metodou (WLSM), metodou nepřesnosti (MOI) a dílčím žebříčkem metod. V této studii multi-jazykových termínových sad byly při rozhodování v týmu FMEA pro vyjádření jejich rozsudku přijaty: fuzzy WLSM pro agregaci těchto rozsudků za účelem vytvoření souhlasu skupiny rozsudků; systém MOI sloučený s nelineárním programováním pro výpočet neurčitých RPNs založených na skupinovém rozsudku; částečně uspořádaná metoda založená na fuzzy preferenčních vztazích pro konečné pořadí poruchových stavů v závislosti na jejich výsledcích fuzzy RPNs.[34]

Abdelgawad a Fayek rozšířili působnost FMEA řízení rizik ve stavebnictví pomocí kombinované fuzzy FMEA a fuzzy AHP. Ve studii byla závažnost (S) postoupena jako dopad (I) a měla tři dimenze: náklady dopadu (CI), doba dopadu (TI) a rozsah / kvalita dopadu (SI). Fuzzy AHP byla sloučena k celkovému CI, TI a SI do jednoho s názvem Proměnný souhrnný dopad (AI). Na základě přidělených hodnot O a D spolu s vypočtenou AI, byl expertní systém fuzzy FMEA podporován pomocí fuzzy pravidla „if-then“ a byla použita k analýze a prioritě odlišné rizikové události. Byl vyvinut softwarový systém s názvem „analyzátor rizika kritičnosti " (RCA) pro provádění navrhovaného rámce.[1]

Liu a spol. navrhl model prioritních rizik pro FMEA pomocí fuzzy dokazující úvahy přístupu (FER) a šedé teorie. Přístup FER byl použit pro modelování rozmanitosti a nejistoty FMEA, dále pro hodnocení informací členů týmu a šedá relační analýza byla použita k určení rizikových priorit selhání režimu. Jádrem navrhované FMEA zahrnuje posouzení rizikových faktorů pomocí domněnky struktury, syntetizující jednotlivé vyznání struktury do struktur skupiny domněnek. Agregaci defuzzifikační skupiny domněnky konstrukce do celkové věřící struktury, kterým se stanoví srovnávací řada standardní řady, získání rozdílu mezi srovnávací sérií a standardní řadou, výpočtem šedého relačního koeficientu a míry vztahu a seřazení druhů poruch pomocí stupně vztahu.

Chang a Cheng tvrdili, že když je každá příčina selhání přidělena pouze jednomu potenciálnímu selhání režimu, tak lze objednávky rizik žebříčku získat přístupem DEMATEL.

Za účelem vyřešení problému navrhli obecnou RPN metodiku, která kombinuje objednané vážené geometrické průměrování (OWGA) a přístup DEMATEL k upřednostnění poruch ve výrobku FMEA. Chang a Cheng navrhli techniku kombinující intuitivní fuzzy množiny (IFS) a přístup DEMATEL k vyhodnocení rizik neúspěchu, a také navrhli algoritmus, který využívá objednání váženého průměrování operátoru (OWA) a přístupu DEMATEL jež vyhodnocuje uspořádání rizik pro selhání problémů. Chang a Wen také navrhli techniku kombinující 2 matice a provozovatele operátoru OWA pro priority poruch ve výrobku designového způsobu selhání a efektní analýzy DFMEA. Dvojnásobná metoda byla použita k řešení problému, že konvenční RPN metoda ztratí některé informace, které poskytuje jako oceněné informace. Provozovatel OWA byl použit k překonání problému, že konvenční RPN metoda není zvážena objednaná hmotnost, která může způsobit zkreslené závěry. Příklad zkroucených matic (CSTN) byl přijat s cílem ověřit navrhovaný přístup. Výsledek byl ve srovnání s konvenční RPN metodou a nařídil vážené průměrování operátoru LOWA.

Kutlu a Ekmekçioğlu považovali za fuzzy přístup odborníky používající jazykové proměnné pro stanovení O, S a D pro FMEA použitím difúzní TOPSIS integrováním s fuzzy AHP. Fuzzy AHP byla využita pro stanovení hmotnosti vektorů tří rizikových faktorů. Pomocí jazykového skóre rizikových faktorů pro každý způsob porušení a hmotností vektorů rizikových faktorů, bylo použito fuzzy TOPSIS k získání potenciálního selhání režimu, které byly zařazeny podle důležitosti druhů poruch.

Chen poukázal na to, že při provádění FMEA je důležité, aby zahrnoval nástroj potenciálních nápravných opatření. Proto se navrhuje nový přístup k určení pořadí priorit FMEA jehož cílem je vyhodnotit strukturu hierarchie a vzájemné propojení nápravné akce interpretačního strukturálního modelu (ISM). Následně se výpočte hmotnost nápravného opatření přes ANP, poté se kombinuje nástroj nápravných opatření a určuje se rozhodnutí o zlepšení pořadí priorit FMEA podle počtu užitečných priorit (UPN).[13]

2.2.5 Ostatní přístupy

Gilchrist upravil konvenční kritičnost posouzením z FMECA a navrhl očekávaný kalkulační vzorec: $ES = C_n \times P_f \times P_d$, kde ES je očekávaná cena pro zákazníka, C selhání nákladů, n je roční množství produkce, P_f - pravděpodobnost selhání a P_d - pravděpodobnost neobjevené poruchy. Ben-Daya a Raouf tvrdili, že pravděpodobnosti P_f a P_d v očekávání nákladů modelu nejsou vždy nezávislé a je velmi obtížné, aby odhadli fázi návrhu výrobku, a závažnost je zcela ignorována očekávaným modelem nákladů. Navrhli proto lepší model

FMECA, který řeší chyby Gilchrista a tuto kritiku spojili s očekávanými náklady modelu, aby zlepšili kvalitu pro výrobní fázi výrobku nebo služeb. Von Ahsen tvrdil, že interně zjištěná porucha může vést také k velmi podstatnému selhání nákladů, a to vše je v konvenční FMEA a Gilchrist přístupu ignorováno. Pro vypořádání se s problémem navrhl nákladově orientovanou FMEA, která zahrnuje nejen náklady na externí poruchy, ale také náklady na interní poruchy a falešně vyhodnocené pozitivní výsledky kontrol možných závad. Kromě toho, Kmenta a Ishii navrhli scénář založený na FMEA pomocí očekávaných nákladů, kde pravděpodobnost a náklady poskytly pevný základ pro analýzu rizika rozhodování, a selhání scénáře zajistili kontinuitu přes úrovně systému a fázemi životního cyklu.

Dong poskytl analýze FMEA nástroj založený na fuzzy užitečnosti odhadu nákladů na překonání nevýhod plynoucích z tradiční FMEA, kdy náklady v důsledku poruchy nejsou definovány. Tento přístup využíval teorii užitečnosti a fuzzy členské funkce pro posouzení O, S a D. Nástroj teorie představoval nelineární vztah mezi náklady z důvodu selhání a řadovému pořadí. Aplikace příslušnosti fuzzy funkcí reprezentoval názory týmu. Index rizika priorit (RPI) vyvinul pro stanovení priorit poruchových stavů.[4]

Rhee a Ishii představili životní náklady založené na FMEA, která ošetřuje riziko z hlediska nákladů. Životní náklady na bázi FMEA byly použity pro porovnávání a výběr alternativ návrhu, které mohou snížit celkové náklady životního cyklu určitého systému. Simulace Monte Carlo byla aplikována a založena na nákladech FMEA, která odpovídá za nejistoty v: detekci času, kterým se stanoví doba, výskyt, zpoždění, stanovení času scénářů komplexních modelů.[24]

Bevilacqua, Braglia a Gabbrielli navrhli metodiku založenou na integraci mezi modifikovaným FMECA a simulací Monte Carlo jako metodu pro testování přidělené váhy na opatření RPNs. Upravený RPN spočívá ve váženém součtu šesti parametrů (bezpečnost, strojová důležitost pro proces, náklady na údržbu, četnost poruch, délka prostoje a provozní podmínky) vynásobená sedmým aspektem (obtížný přístup ke stroji), kde relativní význam šesti atributů byl odhadnut pomocí párového srovnání. Použitím simulace vah nebyl nutný deterministický úkol a zároveň stochastický úkol byl získán konečnou prioritou.[2]

Xiao, Huang, Li, He a Jin vyvinuli metodu FMEA zkombinovanou z více druhů poruch do jednoho, s ohledem na význam poruch a posouzení jejich dopadu na spolehlivost systému. Navrhovaná metoda byla založena na minimum sady teorie MCS, která byla začleněna do tradiční FMEA pro posouzení spolehlivosti systému v přítomnosti více druhů poruch. Navíc rozšířili definici RPN vynásobením hmotnostního parametru, který charakterizuje a způsobuje význam selhání v systému. Následně byl zlepšen vážený RPN a

užitečné nápravné opatření a došlo ke zlepšení příznivého efektivního výsledku v co nejkratší době.

Wang, Ruxton, a Labrie navrhli indukční zdola-nahoru identifikaci rizik a odhad metodologie kombinující FMECA a logický charakter metody BRM. Ta může sloužit k identifikaci všech možných událostí při selhání systému a souvisejících příčin, a posoudit pravděpodobnost jejich výskytu zejména v těch případech, kdy je zapojen stav proměnné a smyčky zpětné vazby. Kromě toho byla induktivní metoda BRM používána pro zpracování informací vyrobené z FMECA uzavřením smyčky mezi identifikaci rizika a odhad rizika.[67]

Gandhi a Agrawal představili metodu FMEA pro mechanické a hydraulické systémy založené na digrafu a přístupu matice. Způsob selhání a účinky digrafu odvozené ze struktury systému byly použity k modelování účinků selhání režimu systému. Pro efektivní počítačové zpracování byly matice definovány tak aby reprezentovaly digraf. Funkční charakteristika byla získána z režimu selhání systému a účinků matice, která pomáhá při podrobné analýze vedoucí k identifikaci různých konstrukčních prvků selhání režimu a efektů. Byl získán také index selhání režimu a účinků systému.[7]

Shahin navrhl přístup ke zvýšení FMEA schopnosti prostřednictvím integrace s modelem Kano. Tento přístup byl stanovený na závažnosti a RPN skrze klasifikaci přísnosti vnímání zákazníků, které podporuje nelineární vztah mezi frekvencí a závažností selhání. Také nově nazvaný index "Korekce poměru" (Cr) byl navržen s cílem posoudit, jaká jsou nápravná opatření ve FMEA. Navrhovaný přístup může umožnit manažerům / návrhářům, aby se přecházelo selhání v raných fázích návrhu, na základě zákazníků, kteří ještě nezažili své produkty / služby.

Braglia, Fantoni, a Frosolini rozšířili kvalitní funkční rozmístění / kvalitu QFD / HOQ pojmy do FMEA a postavili nový operativní nástroj, s názvem základ spolehlivosti HOR, který je schopen překládat náležitost spolehlivosti zákazníka do funkčních požadavků na výrobek strukturovaným způsobem, na základě analýzy poruch. To zvyšuje standardní FMEA analýzu, která představuje nejvýznamnější korelace mezi selháním režimu. Kromě toho, s použitím výsledků z HOR, může být provedena analýza nákladů, tak aby bylo možné analyzovat a vyhodnotit ekonomické důsledky selhání.[3]

Integrované použití QFD a FMEA lze nalézt v odborné literatuře Tan. Sant'Anna (2012), který navrhl metodu odvozenou z numerického hodnocení kritéria bezpečnosti, frekvence a průkaznosti FMEA, s pravděpodobnostním opatřením pro potenciální selhání. Navržený postup byl založen na číselném počátečním měření jako odhad umístění parametrů rozdělení pravděpodobnosti, který umožňuje objektivně s přihlédnutím nejistoty v těchto

měřeních spočítat pravděpodobnosti každého potenciálního selhání a také odhad zda a jak jsou nejvýznamnější podle každého kritéria. Tyto pravděpodobnosti byly sloučeny do globální kvality opatření, které lze interpretovat jako spojená pravděpodobnost volby potenciálního selhání. [28]

2.3 Výhody a nevýhody

Všechny tyto přístupy byly definovány v období 1992 - 2012 a to při řešení tradičních problémů pomocí FMEA. Dále byly zjištěny přístupy multi-kriteriálního rozhodování, matematického programování včetně umělé inteligence a jejich křížení.

Nejvíce populární je fuzzy přístup, který má širokou použitelnost fuzzy pravidla - základní systém a to proto, že fuzzy logika a přístup založený na znalostech fuzzy mají jedinečné výhody. Ve srovnání s konvenční FMEA metodikou, poskytuje fuzzy expertní systém následující výhody:

- Nejednoznačné, kvalitativní nebo nepřesné informace, stejně jako kvantitativní údaje, které mohou být použity v kritičnosti / hodnocení rizika a jsou zpracovány konzistentním způsobem.
- To umožňuje kombinovat výskyt, závažnost a detekovatelnost druhů poruch v pružnějším a realističtější způsobem.
- Umožňuje selhání funkce hodnocení rizika a přizpůsobí se podle povahy procesu nebo výrobku.
- Fuzzy znalostní systém plně začlení inženýry znalosti a odborníky v analýze FMEA a mohou tak být realizovány podstatné úspory nákladů.

Ačkoli byla fuzzy závěrečná technika hojně využita k posílení FMEA metodiky, stále trpí několika omezeními jako např.:

- Je obtížné definovat odpovídající členství funkce pro rizikové faktory a rizika úrovně priority. Kromě toho jakákoliv změna jazykového výrazu, například pomocí sedmi jazykových výrazů lze definovat D namísto pěti, bude vyžadovat znovu odvození příslušné funkce členství.
- To trpí s kombinatorickým problémem pravidlo demolice, která způsobí, že fuzzy model RPN bude mít často velký počet pravidel. Čím větší je počet pravidel stanovený odborníky, tím je lépe predikovatelná přesnost fuzzy RPN modelu.

- Konstrukce základního pravidla fuzzy „if-then“ není zrovna snadný úkol, tak aby obrovské množství rozsudků nebylo velmi nákladné a časově náročné.
- Při fuzzy pravidla „if-then“ se stejným důsledkem, nejsou předchůdci schopni odlišit jeden od druhého. V důsledku toho, že se způsoby selhání vyznačují těmito Fuzzy „if-then“ pravidly budou moci stanovit priority nebo pořadí.
- Je také obtížné vyrovnat se složitým výpočtům pro výrobu přesných rizikových výsledků bez ztráty příliš mnoha informací v procesu fuzzy inference.
- Je obtížné navrhnout vhodné softwarové balíčky k realizaci okamžité komunikace mezi rizikovými vstupy a výstupy, a selhání prioritního postavení. Aby se zabránilo vytváření velkého „if-then“ pravidla, některé přístupy FMEA využívají snížené základy pravidla „if-then“. To však způsobuje některé nové problémy.
- Jestliže dvě „if-then“ pravidla s různými předky lze kombinovat nebo snížit, pak důsledky dvou pravidel, musí být stejné. To poukazuje na skutečnost, že daný odborník nemůže rozlišovat od sebe navzájem dva různé režimy poruch.
- Různí odborníci tedy mohou mít rozdílné znalosti a rozsudky. Jestliže jsou při jejich rozsudku v rozporu, je téměř nemožné kombinovat nebo snížit pravidla.
- Snížené pravidla budou neúplné, pokud není snížení dokončeno ze základny „if-then“ pravidla. Každý závěr z neúplného pravidla základny bude zkreslený, nebo dokonce špatný, protože některé znalosti z takto neúplného pravidla nelze získat.
- Pokud může být vytvořeno kompletní základní pravidlo „if-then“ pomocí odborné znalosti, pak by měly být druhy poruch spíše přednostně směřovány do různých priorit kategorie než mít plnou prioritu pořadí.

3 Zavedení fuzzy logiky v oblasti QFD

Oblast fuzzy logiky je aplikovatelná v jakékoliv oblasti, kde jazykové výrazy používané v běžné řeči, převádíme do číselných charakteristik.

V QFD je to fáze kvantitativního hodnocení míry vzájemné závislosti mezi znaky jakosti a požadavky zákazníků. Každý jedinec v rámci skupiny se rozhoduje na základě svého vlastního uvážení, které je ovšem v řeči – silná vazba, více než průměrná vazba, silnější než vazba znaku jakosti 3 a požadavku zákazníka 5 ovšem silnější než.... Těchto příkladů bychom mohli vymyslet nespočet. Jde o převod subjektivního pocitu do přesné číselné hodnoty. A právě zde je vhodná oblast, kde využít „mlhavé“ množiny. Níže uvedená procedura využívající fuzzy logiku je vhodnou alternativou stávajících postupů pro vyjádření a práci s neurčitými daty.

Možným využitím fuzzy logiky, resp. fuzzy čísel je v oblasti kvantitativního hodnocení míry závislosti mezi jednotlivými požadavky zákazníka a jednotlivými znaky jakosti. Tradiční pojetí je vyjádření pomocí číselného koeficientu, který pro slabou závislost je roven jedné, pro střední nebo průměrnou roven třem a pro silnou závislost roven devíti. Pokud závislost neexistuje, koeficient je roven nule. Pro zúčastněné je nutno se rozhodnout mezi třemi hodnotami, resp. třemi úrovněmi míry závislosti. Ovšem většina lidí v týmu se rozhoduje na základě využití slovního vyjádření „silná“, „průměrná“, „slabá“ a „žádná“ závislost. Těmto slovním výrazům bylo dodatečně přiřazeno číselné ohodnocení, a to 9, 3, 1 nebo 0. Toto ohodnocení je velmi účinné, jednoduché, ale není úplně nejpřesnější. Vhodným nástrojem k ohodnocení jazykového výrazu a jeho převedení do „číselné podoby“ je právě oblast fuzzy logiky.[20]

3.1 Metoda QFD

Jedním ze základních principů současného managementu jakosti je orientace na zákazníka. Významným nástrojem umožňujícím naplňování tohoto principu při plánování nebo zlepšování jakosti je metoda QFD.

Metoda QFD (Quality Function Deployment) je metodou plánování jakosti, založenou na principu maticového diagramu. Představuje strukturovaný přístup pro stanovení potřeb a požadavků zákazníka a jejich transformaci do dalších stádií plánování jakosti a vývoje výrobku a procesu jeho výroby. Metoda QFD je velice důležitým nástrojem komunikace a její úspěšnost je založena na týmové práci pracovníků z různých odborných útvarů zapojených do vývoje výrobku. V projektu QFD by měli být zapojeni pracovníci marketingu, vývoje,

konstrukce, řízení jakosti, přípravy výroby, výroby, technické kontroly, ekonomického útvaru atd., přičemž pro jednotlivé dílčí aplikace lze složení týmu modifikovat.

Základy metody QFD položil v Japonsku v roce 1966 Yoji Akao a poprvé byla aplikovaná na počátku sedmdesátých let u firmy Mitsubishi Heavy Industry's Kobe Shipyards při návrhu tankerů. Poté byla využívána v řadě japonských firem, v osmdesátých letech se pak rozšířila do USA a dalších zemí. [19]

3.2 Přehled QFD aplikací a jejich vývoj

Metoda QFD byla původně vyvinuta a realizována v Japonsku na Kóbe v Loděnici Mitsubishi Heavy Industries v roce 1972. Bylo zjištěno, že Toyota byla schopna snížit počáteční pre-výrobní náklady o 60% od roku 1977 do roku 1984 a snížit čas potřebný k jejímu vývoji o jednu třetinu pomocí metody QFD.

Mezi uživatele QFD patří Toyota, Ford Motor Company, Procter, 3M Corporation, Gamble, AT & T, Hewlett Packard, Digital Equipment Corporation, atd. Americký dodavatel Institut (ASI) v Dearbornu v Michiganu a GOAL/QPC (Aliance Lawrence/Quality Productivity Center) v Methuenu v Massachusetts měli primární organizace, které nabízely přehled a školení metody QFD. Tato byla představena ve Spojených státech na začátku roku 1980.

Metoda QFD byla původně navržena jako proces pro sběr a analýzu hlasu zákazníka (VOC), dále také na rozvoj kvalitnějších produktů, které splňují nebo předčí potřeby zákazníka. Proto je primární funkcí metody QFD vývoj produktů, řízení kvality, a potřeba zákazníka. Později byla metoda QFD rozšířena do oblastí jako je návrh, plánování, rozhodování, inženýrství, management, týmová práce, načasování a náklady. Metoda QFD je užitečný nástroj pro vývoj nových norem pro produkty a jeho výhody jsou dobře zdokumentovány. Různé definice metody QFD byly dány jako "celková koncepce, která poskytuje prostředky překládání požadavků zákazníků do odpovídajících technických požadavků v každé fázi vývoje výrobku a výroby (tj. marketing, plánování, produktový design, prototyp hodnocení, výrobní proces vývoje a výroby, prodej)" nebo "metoda QFD je zákazník řízený procesem návrhu a jeho použitím".

Různé aplikace v literatuře mohou být seskupeny do tří kategorií:

- QFD implementace před fází návrhu,
- QFD implementace ve fázi návrhu,
- QFD implementace po fázi návrhu.

Při řešení požadavků zákazníka se doporučuje, aby návrháři využili analytický hierarchický proces (AHP) k určení hodnoty váhových požadavků zákazníka. Kalargeros a Gao (1998) dále navrhli fuzzy analytický hierarchický proces (FAHP) k vyhodnocení významu váhy zákaznických atributů. Fung a kolektiv zkombinovali pojmy AHP a fuzzy logiku pro určení cílových hodnot pro charakteristiku výrobku.

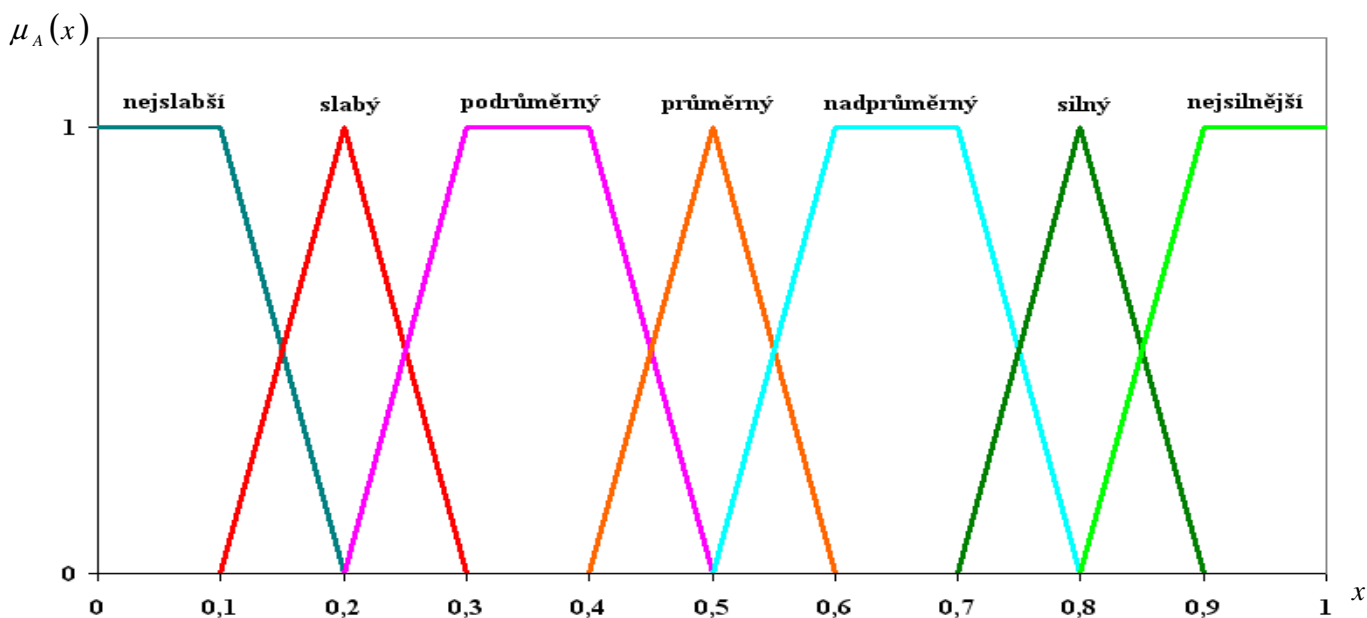
V roce 1999 Dawson a Askin představili nelineární matematický program pro stanovení optimálních technických charakteristik v rámci koncernu nákladů a životního cyklu s časovým omezením. Vanegasa a Labib (2001) vyvinul fuzzy model Quality Function Deployment k určení cílových hodnot charakteristik konstrukce. Analytický hierarchický proces metody AHP s anebo bez fuzzy logiky, pomáhá definovat míru důležitosti požadovaného kvality a také korelace mezi údaji v maticích. Metoda AHP vyvinutá Saaty (1980) byla intenzívně studována a v posledních 20 letech se používá téměř ve všech aplikacích souvisejících s více kritérii rozhodování díky metodě MCDM.

Kromě použití v oblasti financí byla metoda AHP přijata v oblasti vzdělávání, strojírenství, průmyslu, managementu, výrobě, a také v osobní, politické, sociální a sportovní oblasti. Široká použitelnost metody AHP je díky své jednoduchosti, snadnosti použití, a vysoké flexibilitě. Ta může být integrována s jinými technikami, jako například matematické programování kde se berou v úvahu nejen kvalitativní a kvantitativními faktory, ale také některé faktory s omezením z reálného světa. Tento přístup, který je považován jako integrovaná metoda AHP a může určitě udělat realističtější a perspektivní rozhodnutí než metoda „stand-alone“ AHP. Ale je také pomůckou vědců a osob s rozhodovacími pravomocemi v uplatňování integrovaných metod AHP.[6]

3.3 Vyjádření závislosti mezi požadavkem zákazníka a znakem jakosti

Označme znak jakosti jako Q , a h -tou podskupinu znaků označme Q_h , kdy předpokládáme, že máme m podskupin. Požadavek zákazníků označme jako P , kdy máme n požadavků. Dále označme i -tý znak v dané h -té podskupině jako Q_{hi} , a j -tý požadavek označme jako P_j . Tradičně označujeme míru závislosti mezi jednotlivými požadavky zákazníka a znaky jakosti pomocí grafických symbolů, které představují čísla 1, 3, 9, kdy pro slabou závislost volíme 1, pro střední 3 a pro silnou závislost hodnotu 9. Tuto míru závislosti mezi znakem jakosti Q_{hi} a požadavkem zákazníka P_j nahradíme využitím příslušné funkce příslušnosti definované pomocí jazykových proměnných ve fuzzy logice. Označíme ji jako V_{hij} , což je ohodnocení vztahu mezi Q_{hi} a P_j pomocí funkcí příslušnosti, které můžeme označit pomocí velkých písmen.

Najít příslušnou funkci příslušnosti není jednoduché. Pro zjednodušení výpočtu je vhodnější využít jednoduché trojúhelníkové a trapezoidní tvary nebo zjednodušené tvary S^+ či S^- pro dané funkce příslušnosti. Na obrázku 1 je ukázka možných funkcí příslušností pro jazykové proměnné vyjadřující vztah závislosti v sedmi stupních. Využity jsou zde všechny jednoduché tvary: trojúhelníkový, trapezoidní a tvar obou S křivek.



Obrázek 6: Příklady funkcí příslušností jednotlivých jazykových proměnných pro 7-stupňový vztah závislosti [39].

Je samozřejmé, že fuzzy čísla můžeme znázornit jak v grafické podobě, tak i pomocí matematického zápisu.

$$\mu_{NP}(x) = \begin{cases} (x-0,5)/(0,6-0,5), & 0,5 \leq x \leq 0,6, \\ (0,8-x)/(0,8-0,7), & 0,7 \leq x \leq 0,8, \\ 1 & 0,6 \leq x \leq 0,7, \\ 0 & x < 0,5 \vee x > 0,8 \end{cases} \quad \mu_{SLA}(x) = \begin{cases} (x-0,1)/(0,2-0,1), & 0,1 \leq x \leq 0,2, \\ (0,3-x)/(0,3-0,2), & 0,2 \leq x \leq 0,3, \\ 1 & x = 0,2, \\ 0 & x < 0,1 \vee x > 0,3 \end{cases}$$

Obrázek 7 : Matematický zápis pro funkci příslušnosti jazykové proměnné „nadprůměrný“ a „slabý“ vztah závislosti z obrázku 6.

Vyhodnocení

Pokud chceme provést vyhodnocení, můžeme využít „průměrný“ index, resp. fuzzy číslo, které bude udávat celkové „průměrné“ vyhodnocení Q_{hi} -tého znaku jakosti ovšem s respektující relativní váhou daného požadavku zákazníka. Tento index získáme součtem (fuzzy sčítání) daných fuzzy čísel a následným „dělením“ ve smyslu fuzzy logiky (fuzzy multiplikace).

$$V_{hi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_{hij} \cdot \text{relativní váha } P_j \quad (1)$$

V klasickém QFD je tento výpočet skoro identický Z_j .

Dalším krokem je výpočet stupně (nepřesně váhy) fuzzy čísel, využitím maximalizace a minimalizace fuzzy množin. Tento postup byl odvozen a navržen Chenem (1985) (originál dostupný pouze za finanční obnos). Výpočet je možný pro trapezoidní fuzzy množiny. Vzorec je upraven pro trojúhelníková fuzzy čísla.

$$w_{hi} = \frac{1}{2} \left[\frac{c - x_{hMIN}}{(x_{hMAX} - x_{hMIN}) + (c - b)} + 1 - \frac{x_{hMAX} - a}{(x_{hMAX} - x_{hMIN}) + (b - a)} \right], \quad (2)$$

kde $x_{hMIN} = \inf X_h$; $x_{hMAX} = \sup X_h$; $X_h = \bigcup_{hi=1}^{hm} X_{hi}$; $X_{hi} = \{x_h \mid \mu_{v_{hi}}(x_h) > 0\}$ a

X_{hi} znamená alternativu v rámci fuzzy logiky V_{hi} .

Hodnota w_{hi} odráží úroveň či hodnotu h -tého znaku jakosti s ohledem na celou skupinu znaků jakosti.

3.4 Aplikace QFD

Pro příklad byla využita již existující matice QFD svařovacího drátu z disertační práce pana doktora Vykydala.

Převod (náhrada) závislostí na fuzzy čísla

Výsledky jednotlivých závislostí mezi požadavky zákazníka a znaky jakosti z matice, jsme převedly na fuzzy čísla.

Pro vyjádření jazykových proměnných „nezávislá“, „slabá“, „průměrná“ a „silná“ závislost, byly využity funkce příslušnosti, které byly zvoleny na základě klasického využití číselných hodnot 1,3,9 v QFD. Pro využití na ilustrujícím příkladu, jsou dané funkce příslušnosti jazykových proměnných dostačující a význam slov je vhodně jimi popsán. Je zde dokonce vystihnuta pomocí asymetrie různá vzdálenost mezi čísly 1 a 3 a mezi čísly 3 a 9.

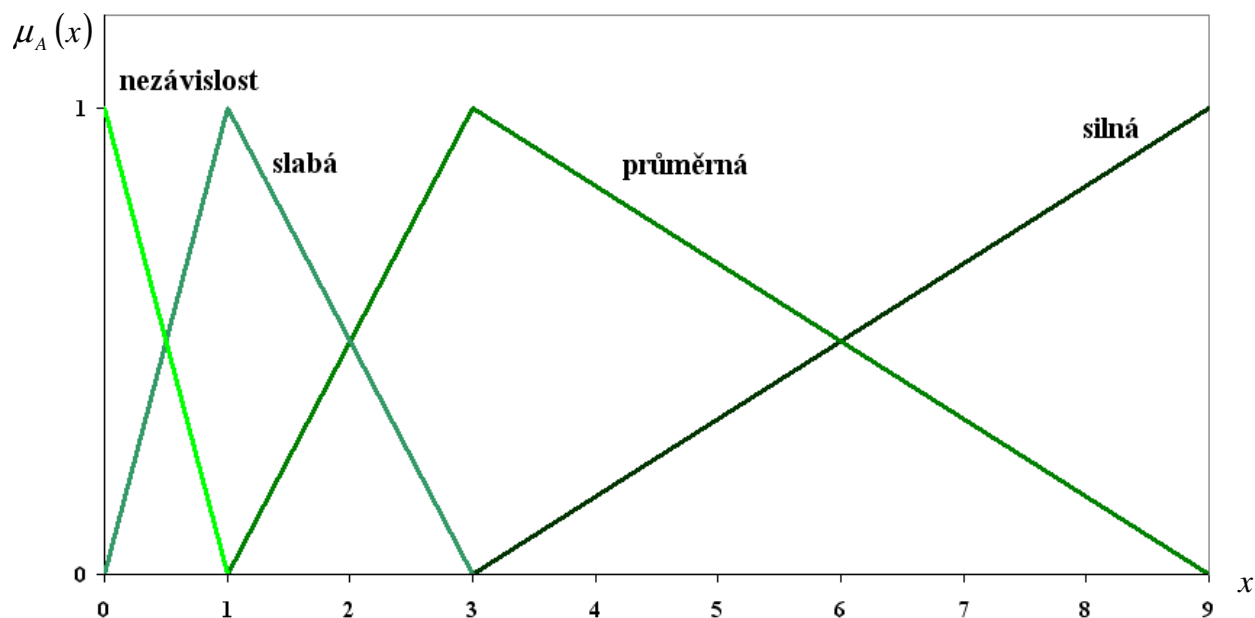
Dané funkce příslušnosti fuzzy čísel pomocí zjednodušeného (trojúhelníkové fuzzy číslo je popsáno třemi číslicemi – dolním levým bodem (a), vrcholem (b) a pravým bodem (c) číselného zápisu vypadají následovně:

„nezávislá“ ... N = (0; 0; 1)

„slabá“závislost ... S = (0; 1; 3)

„průměrná“závislost ... P = (1; 3; 9)

„silná“ závislost ... SI = (3; 9; 9)



Obrázek 8: Graf znázorňující funkce příslušnosti N, S, P a SI

Například fuzzy číslo vyjadřující vztah mezi „dodržení max. obsahu Cu, včetně poměření“ (Q_{11}) a požadavkem „obsah Cu v drátu“ (P_{13}) je $V_{1,1,13} = (3, 9, 9)$.

Vypočet „průměrného“ indexu, resp. fuzzy čísla vyjadřující celkové „průměrné“ vyhodnocení Q_{hi} -tého znaku jakosti

Po převodu jednotlivých závislostí na fuzzy čísla lze dle vzorce (2) vypočítat „průměrný index“, resp. fuzzy číslo udávající „průměrné“ vyhodnocení Q_{hi} -tého znaku jakosti. Uvažujeme všech 24 požadavků zákazníka.

Například „průměrné“ fuzzy číslo „obsah C“ (Q_{11}) lze vypočítat jako:

$$V_{11} = (1/24) \otimes [(5 \otimes SI \otimes \text{relativní váha } P_j) \oplus (1 \otimes S \otimes \text{relativní váha } P_j) \oplus (6 \otimes N \otimes \text{relativní váha } P_j)]$$

$$V_{11} = (2,42; 7,42; 10,94)$$

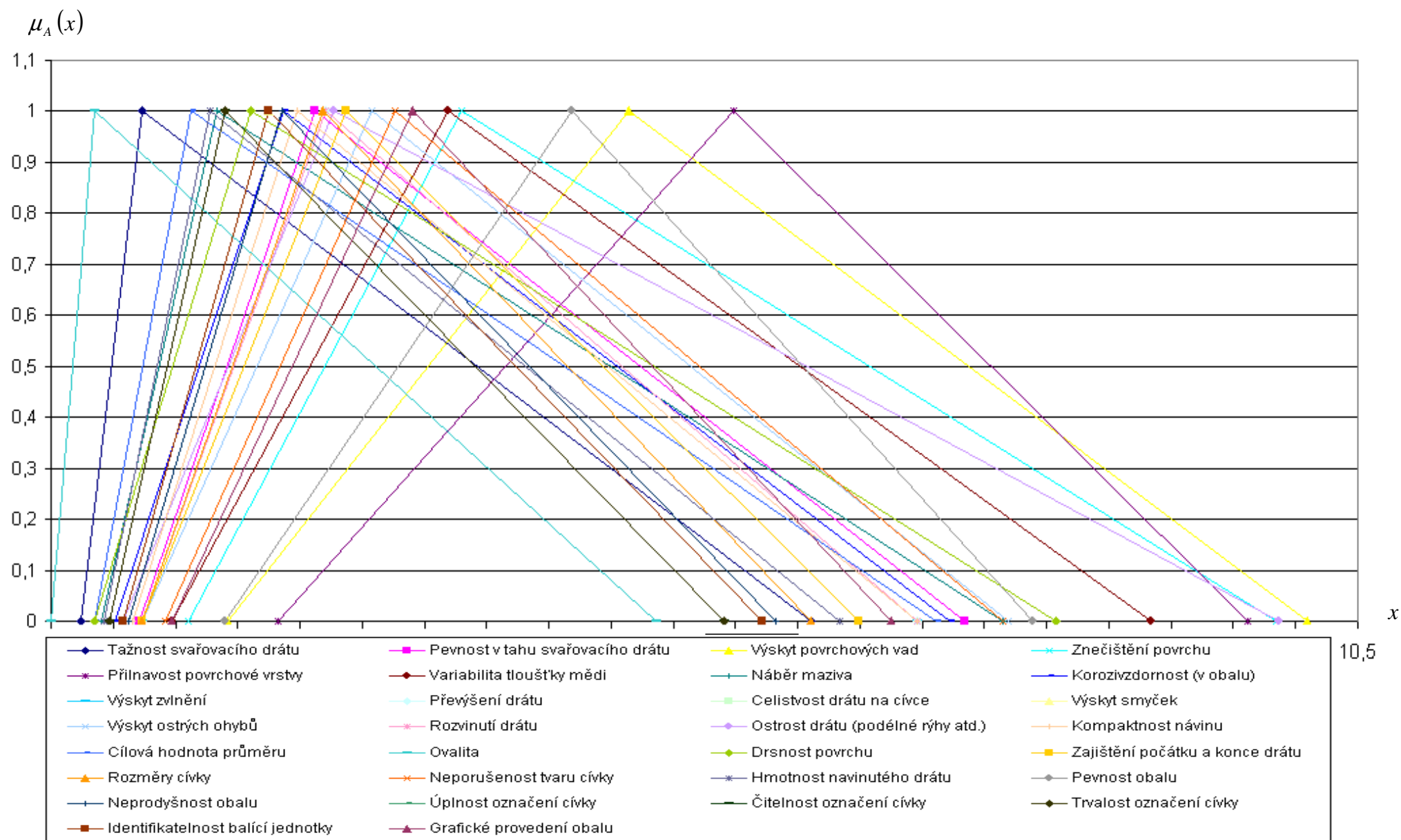
Jednotlivé výsledky zaokrouhleny na dvě desetinná místa jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: „Průměrná“ fuzzy čísla jednotlivých znaků jakosti

①	Obsah C	(2,42 ; 7,42 ; 10,94)	④	Výskyt zvlnění	(0,74 ; 2,21 ; 6,96)
	Obsah Si	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)		Převýšení drátu	(0,74 ; 2,21 ; 6,96)
	Obsah Mn	(2,42 ; 7,53 ; 11,15)		Celistvost drátu na cívce	(0,58 ; 1,74 ; 5,72)
	Obsah P	(1,13 ; 3,39 ; 10,63)		Výskyt smyček	(0,58 ; 1,74 ; 5,72)
	Obsah S	(1,13 ; 3,39 ; 10,63)		Výskyt ostrých ohybů	(0,74 ; 2,58 ; 7,69)
	Obsah Ni	(0,48 ; 1,45 ; 5,46)		Rozvinutí drátu	(0,74 ; 2,21 ; 6,96)
	Obsah Mo	(0,81 ; 2,75 ; 8,69)		Ostrost drátu (podélné rýhy atd.)	(0,58 ; 2,27 ; 9,86)
	Obsah Al	(0,65 ; 2,42 ; 7,72)		Kompaktnost návinu	(0,66 ; 1,98 ; 6,96)
	Obsah Ti	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)		Cílová hodnota průměru	(0,35 ; 1,12 ; 7,11)
	Obsah Zr	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)		Ovalita	(0,00 ; 0,35 ; 4,86)
	Obsah Cr	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)		Drsnost povrchu	(0,35 ; 1,61 ; 8,08)
	Obsah V	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)		Zajištění počátku a konce drátu	(0,73 ; 2,37 ; 6,49)
②	Obsah Cu v drátu	(0,45 ; 1,93 ; 7,37)	⑤	Rozměry cívky	(0,73 ; 2,18 ; 6,10)
	Náběr Cu	(2,48 ; 8,13 ; 13,47)		Neporušenost tvaru cívky	(0,92 ; 2,76 ; 7,65)
	Tažnost svařovacího drátu	(0,24 ; 0,73 ; 6,10)		Hmotnost navinutého drátu	(0,43 ; 1,28 ; 6,34)
③	Pevnost v tahu svařovacího drátu	(0,71 ; 2,12 ; 7,34)	⑥	Pevnost obalu	(1,40 ; 4,19 ; 7,89)
	Výskyt povrchových vad	(1,42 ; 4,65 ; 10,10)		Neprodyšnost obalu	(0,62 ; 1,86 ; 5,82)
	Znečištění povrchu	(1,10 ; 3,29 ; 9,85)		Úplnost označení cívky	(0,47 ; 1,40 ; 5,41)
	Přilnavost	(1,83 ; 5,48 ; 9,61)		Čitelnost	(0,47 ; 1,40 ; 5,41)

	povrchové vrstvy			označení cívky	
	Variabilita tloušťky mědi	(0,98 ; 3,19 ; 8,84)		Trvalost označení cívky	(0,47 ; 1,40 ; 5,41)
	Náběr maziva	(0,41 ; 1,34 ; 7,65)		Identifikovatelnost balící jednotky	(0,58 ; 1,74 ; 5,72)
	Korozivzdornost (v obalu)	(0,52 ; 1,87 ; 7,22)		Grafické provedení obalu	(0,97 ; 2,91 ; 6,75)

Vybrané znaky jakosti v podobě „průměrných“ fuzzy čísel jsou zobrazeny na obrázku 9. Ovšem porovnání velikostí těchto fuzzy čísel není tak jednoduché vzhledem k jejich definici. Lze použít jiných postupů ve fuzzy logice (α řezy a práce s nimi, což vyžaduje software) nebo postupu navrženého a odvozeného Chenem (1985) ve vzorci 2.



Obrázek 9: „Průměrná“ fuzzy čísla vybraných znaků jakosti – grafické znázornění

Výpočet stupně (nepřesně váhy) fuzzy čísel w_{hi}

Ve skupině 1 – „chemické složení“ máme 14 znaků jakosti:

V_{11}	(2,42 ; 7,42 ; 10,94)
V_{12}	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)
V_{13}	(2,42 ; 7,53 ; 11,15)
V_{14}	(1,13 ; 3,39 ; 10,63)
V_{15}	(1,13 ; 3,39 ; 10,63)
V_{16}	(0,48 ; 1,45 ; 5,46)
V_{17}	(0,81 ; 2,75 ; 8,69)
V_{18}	(0,65 ; 2,42 ; 7,72)
V_{19}	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)
V_{110}	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)
V_{111}	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)
V_{112}	(0,48 ; 2,10 ; 6,75)
V_{113}	(0,45 ; 1,93 ; 7,37)
V_{114}	(2,48 ; 8,13 ; 13,47)

$$w_{11} = \frac{1}{2} \left[\frac{c - x_{1MIN}}{(x_{1MAX} - x_{1MIN}) + (c - b)} + 1 - \frac{x_{1MAX} - a}{(x_{1MAX} - x_{1MIN}) + (b - a)} \right],$$

kde $x_{1MIN} = 0,48$; $x_{1MAX} = 13,48$; $(a, b, c) = (2,42; 7,42; 10,94)$

$$w_{11} = \frac{1}{2} \left[\frac{10,94 - 0,48}{(13,48 - 0,48) + (10,94 - 2,42)} + 1 - \frac{13,48 - 2,42}{(13,48 - 0,48) + (7,42 - 2,42)} \right] = 0,516$$

Jednotlivé výsledky udávající hodnotu w_{hi} odrážející důležitost h -tého znaku jakosti ve vztahu k plnění jednotlivých požadavků zákazníka ovšem s ohledem na hodnoty zbývajících znaků ve skupině.

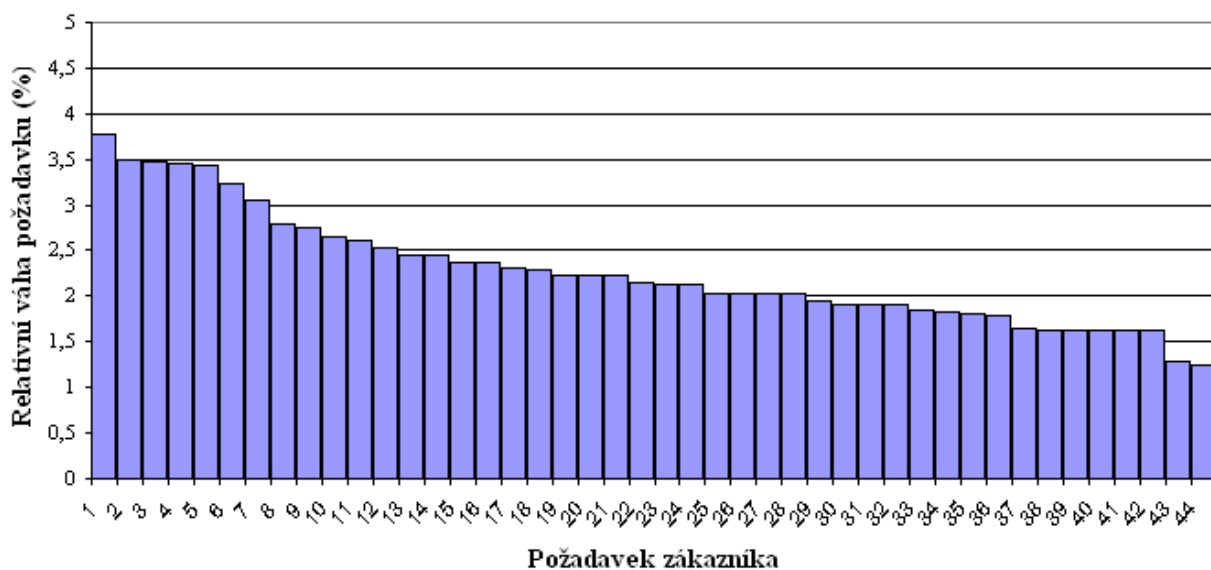
Tabulka 2: Hodnoty pro jednotlivé znaky jakosti

①	Obsah C	0,516	④	Výskyt zvlnění	0,336
	Obsah Si	0,245		Převýšení drátu	0,336
	Obsah Mn	0,523		Celistvost drátu na cívce	0,286
	Obsah P	0,355		Výskyt smyček	0,286
	Obsah S	0,355		Výskyt ostrých ohybů	0,367
	Obsah Ni	0,194		Rozvinutí drátu	0,336
	Obsah Mo	0,303		Ostrost drátu (podélné rýhy atd.)	0,381
	Obsah Al	0,274		Kompaktnost návinu	0,323
	Obsah Ti	0,245		Cílová hodnota průměru	0,277
	Obsah Zr	0,245		Ovalita	0,186
	Obsah Cr	0,245		Drsnost povrchu	0,319
	Obsah V	0,245	⑤	Zajištění počátku a konce drátu	0,369
	Obsah Cu v drátu	0,248		Rozměry cívky	0,348
	Náběr Cu	0,565		Neporušenost tvaru cívky	0,418
②	Tažnost svařovacího drátu	0,267		Hmotnost navinutého drátu	0,287
	Pevnost v tahu svařovacího drátu	0,399		Pevnost obalu	0,518
③	Výskyt povrchových vad	0,484	⑥	Neprodyšnost obalu	0,319
	Znečištění povrchu	0,412		Úplnost označení cívky	0,304
	Přilnavost povrchové vrstvy	0,523		Čitelnost označení cívky	0,304
	Variabilita tloušťky mědi	0,392		Trvalost označení cívky	0,304
	Náběr maziva	0,270		Identifikatelnost balící jednotky	0,342
	Korozivzdornost (v obalu)	0,293		Grafické provedení obalu	0,459

Tyto hodnoty mohou být následně přepočteny na relativní váhy jednotlivých znaků jakosti produktu. Výsledky jsou zpracovány v tabulce 3 a grafická podoba na obrázku 10. Hodnoty (znaky jakosti) jsou seřazeny dle velikosti relativních vah.

Tabulka 3: Relativní váhy jednotlivých znaků jakosti

1	Náběr Cu	3,769	23	Drsnost povrchu	2,130
2	Přilnavost povrchové vrstvy	3,487	24	Neprodyšnost obalu	2,124
3	Obsah Mn	3,484	25	Úplnost označení cívky	2,030
4	Pevnost obalu	3,451	26	Čitelnost označení cívky	2,030
5	Obsah C	3,443	27	Trvalost označení cívky	2,030
6	Výskyt povrchových vad	3,227	28	Obsah Mo	2,019
7	Grafické provedení obalu	3,059	29	Korozivzdornost (v obalu)	1,952
8	Neporušenost tvaru cívky	2,788	30	Hmotnost navinutého drátu	1,916
9	Znečištění povrchu	2,746	31	Celistvost drátu na cívce	1,905
10	Pevnost v tahu svařovacího drátu	2,657	32	Výskyt smyček	1,905
11	Variabilita tloušťky mědi	2,610	33	Cílová hodnota průměru	1,848
12	Ostrost drátu (podélné rýhy atd.)	2,539	34	Obsah Al	1,830
13	Zajištění počátku a konce drátu	2,459	35	Náběr maziva	1,799
14	Výskyt ostrých ohybů	2,445	36	Tažnost svařovacího drátu	1,779
15	Obsah P	2,370	37	Obsah Cu v drátu	1,655
16	Obsah S	2,370	38	Obsah Si	1,631
17	Rozměry cívky	2,318	39	Obsah Ti	1,631
18	Identifikatelnost balící jednotky	2,279	40	Obsah Zr	1,631
19	Výskyt zvlnění	2,237	41	Obsah Cr	1,631
20	Převýšení drátu	2,237	42	Obsah V	1,631
21	Rozvinutí drátu	2,237	43	Obsah Ni	1,293
22	Kompaktnost návinu	2,152	44	Ovalita	1,241



1 Náběr Cu	12 Ostrost drátu (podélné rýhy atd.)	23 Drsnost povrchu	34 Obsah Al
2 Přílnavost povrchové vrstvy	13 Zajištění počátku a konce drátu	24 Neprodyšnost obalu	35 Náběr maziva
3 Obsah Mn	14 Výskyt ostrých ohybů	25 Úplnost označení cívky	36 Tažnost svařovacího drátu
4 Pevnost obalu	15 Obsah P	26 Čitelnost označení cívky	37 Obsah Cu v drátu
5 Obsah C	16 Obsah S	27 Trvalost označení cívky	38 Obsah Si
6 Výskyt povrchových vad	17 Rozměry cívky	28 Obsah Mo	39 Obsah Ti
7 Grafické provedení obalu	18 Identifikatelnost balicí jednotky	29 Korozivzdornost (v obalu)	40 Obsah Zr
8 Neporušenost tvaru cívky	19 Výskyt zvlnění	30 Hmotnost navinutého drátu	41 Obsah Cr
9 Znečištění povrchu	20 Převýšení drátu	31 Celistvost drátu na cívce	42 Obsah V
10 Pevnost v tahu svařovacího drátu	21 Rozvinutí drátu	32 Výskyt smyček	43 Obsah Ni
11 Variabilita tloušťky mědi	22 Kompaktnost návinu	33 Cílová hodnota průměru	44 Ovalita

Obrázek 10: Relativní váhy jednotlivých znaků jakosti - graficky

Skupina nejdůležitějších znaků jakosti svařovacího drátu, kterým by měla být věnována největší pozornost, by mohla být vyhodnocena pomocí Paretova diagramu, toto ovšem není cílem.

V další fázi se srovnal klasický přístup, resp. klasický výpočet relativních vah jednotlivých znaků jakosti produktu a výpočet téhož s využitím fuzzy čísel.

Na obrázku 11 jsou seřazeny všechny znaky jakosti, podle relativní váhy, byly vypočítány dle postupů s využitím fuzzy logiky. V prvním (šestém) sloupci je uvedeno pořadí odpovídající výpočtům využívající fuzzy přístup. Ve druhém (sedmém) sloupci je pořadí znaků podle relativních vah znaků jakosti vypočtených klasickým postupem (disertace David Vykydal). Ve třetím (osmém) sloupci je rozdíl mezi pořadím ve sloupci jedna a dvě.

Rozdíl v absolutním pořadí v rozmezí deseti míst je ponechán, rozdíl ve velikosti 10-18 je **zvýrazněn růžově a největší rozdíly (19 míst v řebříčku) jsou červené.**

Znaky jakosti				váha	Znaky jakosti				váha
1	1	0	Náběr Cu	3,85	23	35	-12	Drsnost povrchu	2,18
2	4	-2	Přilnavost povrchové vrstvy	3,57	24	31	-7	Neprodyšnost obalu	2,17
3	2	1	Obsah Mn	3,56	25	37	-12	Úplnost označení cívký	2,08
4	6	-2	Pevnost obalu	3,53	26	38	-12	Čitelnost označení cívký	2,08
5	3	2	Obsah C	3,44	27	39	-12	Trvalost označení cívký	2,08
6	5	1	Výskyt povrchových vad	3,30	28	13	15	Obsah Mo	2,06
7	11	-4	Grafické provedení obalu	3,13	29	30	-1	Korozivzdornost (v obalu)	2,00
8	12	-4	Neporušenost tvaru cívký	2,85	30	41	-11	Hmotnost navinutého drátu	1,96
9	9	0	Znečištění povrchu	2,81	31	32	-1	Celistvost drátu na cívce	1,95
10	22	-12	Pevnost v tahu svařovacího drátu	2,72	32	33	-1	Výskyt smyček	1,95
11	10	1	Variabilita tloušťky mědi	2,67	33	42	-9	Cílová hodnota průměru	1,89
12	17	-5	Ostrost drátu (podélné rýhy atd.)	2,60	34	15	19	Obsah Al	1,87
13	16	-3	Zajištění počátku a konce drátu	2,51	35	40	-5	Náběr maziva	1,84
14	14	0	Výskyt ostrých ohybů	2,50	36	43	-7	Tažnost svařovacího drátu	1,82
15	7	8	Obsah P	2,42	37	29	8	Obsah Cu v drátu	1,69
16	8	8	Obsah S	2,42	38	24	14	Obsah Ti	1,67
17	21	-4	Rozměry cívký	2,37	39	25	14	Obsah Zr	1,67
18	34	-16	Identifikatelnost balící jednotky	2,33	40	26	14	Obsah Cr	1,67
19	18	1	Výskyt zvlnění	2,29	41	27	14	Obsah V	1,67
20	19	1	Převýšení drátu	2,29	42	23	19	Obsah Si	1,63
21	20	1	Rozvinutí drátu	2,29	43	36	7	Obsah Ni	1,32
22	28	-6	Kompaktnost návinu	2,20	44	44	0	Ovalita	1,27

Obrázek 11: Rozdíly znaků jakosti – klasický přístup versus fuzzy přístup

Příčiny rozdílnosti

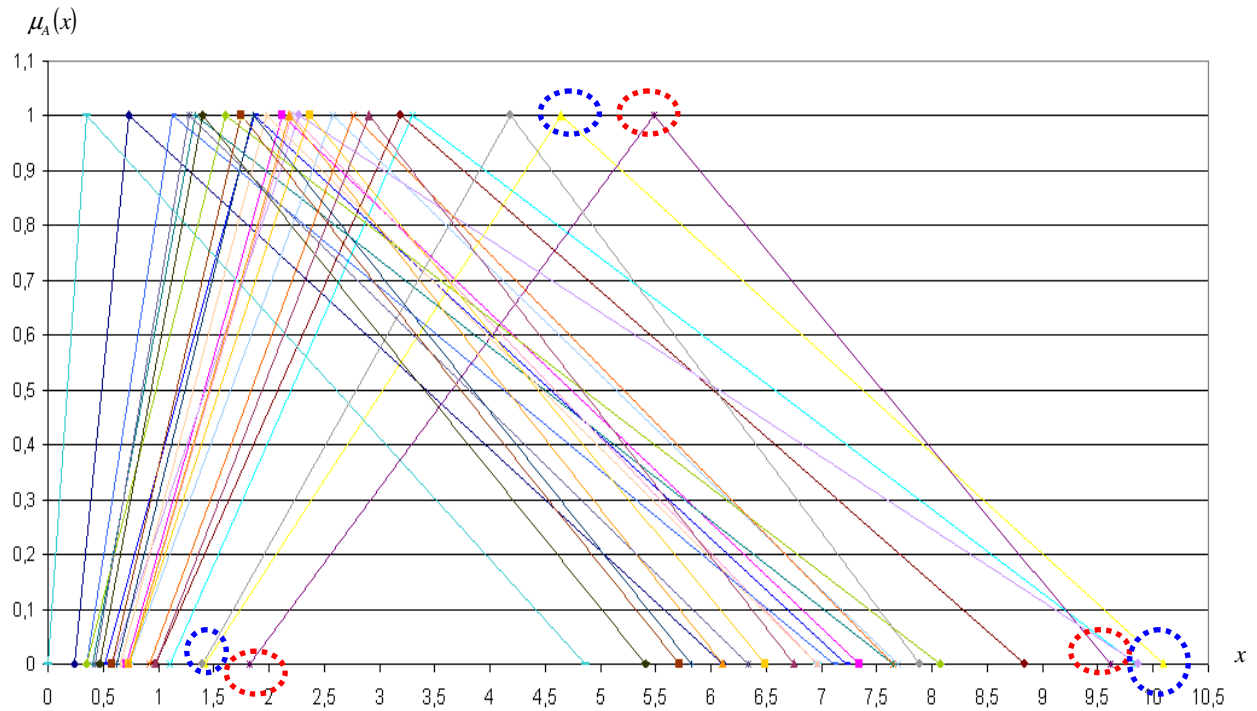
a) převod lingvistické proměnné do fuzzy čísla

- fuzzy číslo volíme dle zkušeností, zde byl použit intuitivní postup, který by měl být velmi blízký volbě korelací 0,1,3,9.
- V klasickém přístupu je „nula nulou“. Ve fuzzy logice je fuzzy číslo „nezávislost“ přece jen definované – jeho pravé „rameno“ končí v čísle jedna. Dál tedy s touto hodnotou musíme počítat. Stručně by se to dalo shrnout heslem „všechno souvisí se vším“.

b) Srovnání výsledných „průměrných“ fuzzy čísel

Srovnání fuzzy čísel je možné mimo jiné pomocí grafického zobrazení. Ovšem nelze vždy jednoznačně rozhodnout, které číslo je „jednoznačně“ větší. Fuzzy číslo je definováno pomocí dalších tří číslic a nelze určit jednoznačně jedno z nich (nabízí se vrchol) a srovnat je pomocí jedné ze tří číslic.

Tento problém je řešen pomocí výpočtu váhy – propočtu na „jedno číslo“, resp. váhy znaku jakosti, což je vhodnější termín ovšem nepřesný v rámci úvah fuzzy logiky.



Obrázek 12: Grafické srovnání fuzzy čísel s načrtnutými problémovými místy

c) Výpočet váhy znaku jakosti

- výpočet této váhy lze vypočítat minimálně dvojím způsobem, při respektování základů, postupů a principů fuzzy logiky.
 - První způsob je pomocí α -řezů, což je početně náročnější. Tato varianta se vyskytuje v některých člancích, kde jsou i srovnány varianty výsledků pro různé α -řezy.
 - Druhý způsob je definovaný Chenem (1985). Tento způsob byl využit, viz vzorec (2).
- Ve vzorci (2), se využívají suprema a infima dané nadskupiny znaků jakosti. Váha je tedy vypočtena s ohledem na horní a dolní závory daných nadskupin, což v klasickém výpočtu nezohledňujeme.

Shrnutí

Cílem tohoto příkladu bylo pokusit se aplikovat fuzzy logiku do metodiky QFD. Obecně je fuzzy logika velmi vhodný nástroj pro ohodnocení jazykového výrazu, který vyjadřuje úroveň korelace, resp. závislosti mezi znakem jakosti a požadavkem zákazníka. Problémem je vhodná volba fuzzy čísel (symetrie \times nesymetrie; volba konců a začátků), která je provedena víceméně intuitivně. Touto problematikou se, ale zabývají jiné články a v teorii fuzzy množin je oblast, pomocí které by se dalo toto řešit. Samotný výpočet již tak náročný není, i když je třeba vždy zohlednit rozdílná maxima odpovídající volbám fuzzy čísel.

Pokud srovnáme klasický a fuzzy přístup k hodnocení QFD dojdeme k závěru, že rozdílnosti zde jsou. Největší rozdíl byl nalezen v pořadí relativních vah dvou znaků jakosti: obsah Si a obsah Al. Možné příčiny rozdílnosti jsou uvedeny výše.

Každopádně je fuzzy logika vhodným nástrojem k aplikaci právě v rámci QFD, kde ji lze velmi vhodně použít díky množství lingvistických proměnných.

3.5 Aplikace metody FMEA

K hodnocení výskytu poruch používá tradiční metoda FMEA rizikové prioritní číslo (RPN), které získá zjištěním tří faktorů a to výskyt poruchy (O), závažnost poruchy (S) a pravděpodobnost zjištění poruchy (D). Matematicky se dá vyjádřit $RPN = O \times S \times D$. RPN systém slouží k vyhodnocení poruchy a stanoví priority akcí. V některých případech se může stát provádění hodnocení nedostatečné, proto lze tyto nedostatky překonat s použitím fuzzy logiky.

Fuzzy logika je algoritmus, který je popsán v následujících krocích:

1. Definování jazykových proměnných a výrazů (inicializace).
2. Funkce příslušnosti (inicializace)
3. Báze pravidel (inicializace).
4. Převod vstupních dat pomocí fuzzy proměnných na funkce příslušnosti (fuzzifikace).
5. Ověření základních pravidel (inference).
6. Kombinace výsledků z každého pravidla (inference).
7. Převod výstupních dat na non-fuzzy hodnoty (defuzzifikace).

Aplikace na konkrétním příkladě

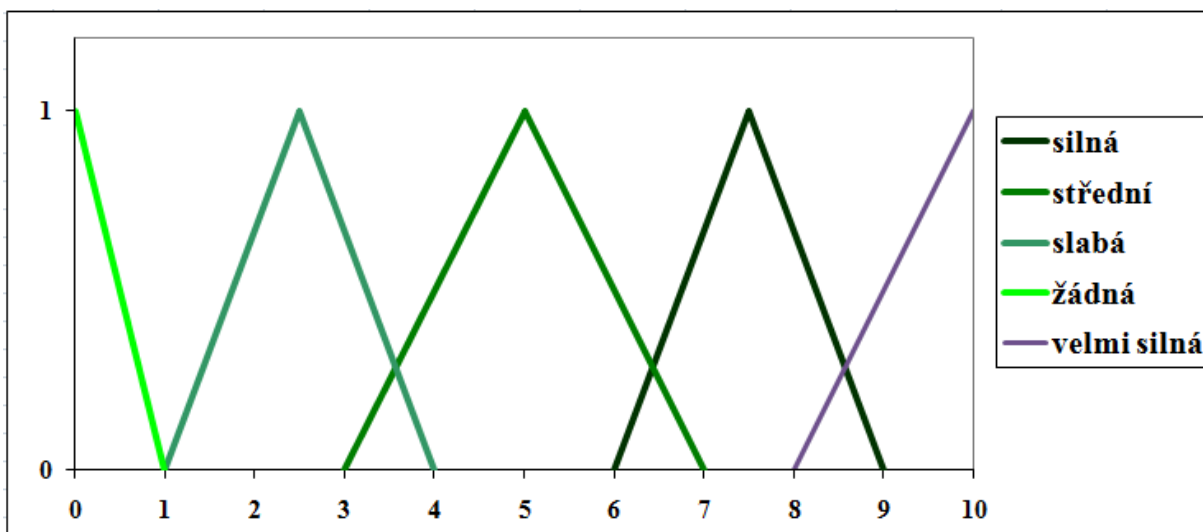
Tato navrhovaná metoda byla aplikována v nákupním oddělení nemocnice v Istanbulu. Účelem bylo zlepšit nákupní proces k redukci času dodání, výdajů a k odstranění zbytečné práce. Zlepšením procesu by došlo k pozitivnímu dopadu na následující procesy včetně zdravotnických služeb. Z tohoto důvodu byla v této nemocnici aplikována metoda FMEA založena na přístupu fuzzy logiky vzhledem k nedostatku číselných údajů a znaleckého posudku.

Pomocí klasické metody FMEA bylo provedeno hodnocení poruchových stavů. Tyto poruchy byly vypočteny pomocí příslušných rizikových faktorů a tyto vypočtené hodnoty RPN jsou zaznačeny v tabulce 4.[35]

Tabulka 4: RPN čísla s ohledem na výskyt, závažnost a pravděpodobnost výskytu vady

číslo	Poruchy	O	S	D	RPN
1	Pozdě stanovená potřeba	6	8	9	432
2	Chybějící identifikace	5	6	7	210
3	Kupní formulář špatně vyplněn	1	3	2	6
4	Formulář žádosti a technické specifikace jsou dodány pozdě	4	6	3	72
5	Špatná identifikace	4	6	6	144
6	Nepřípustné substance pro konkurenci a porušení pravidel	3	6	5	90
7	Špatná příprava přibližných nákladů	2	6	6	72
8	Dlouhá doba	6	6	4	144
9	Nesprávné řízení výběrového řízení	1	4	7	28
10	Úvod administrativních předpisů chybí nebo jsou špatně	1	6	5	30
11	Zakazující definice pro konkurenci a přestupek proti předpisům	1	6	5	30
12	Souhlas k tomu, aby pracoval bez kompenzace	1	7	3	21
13	Pozdní zavedení	1	6	1	6
14	Chybějící číslo	1	6	1	6
15	Chybějící informace	1	8	2	16
16	Konfliktní výroky o zadávací dokumentaci	1	8	2	16
17	Málo času	1	8	2	16
18	Nesprávné posouzení	3	9	2	54
19	Pozdější rozhodnutí	8	8	3	192
20	Nedostatečné hlášení	1	6	2	12
21	Pozdní oznámení	1	6	1	6
22	Žádné přiřazení znalce	1	7	2	14
23	Neadekvátní výzkum	3	3	3	27
24	Dlouhá doba	5	7	4	140
25	Nedosažení objednávky dodavatele	2	6	4	48
26	Pozdní objednávky	1	6	6	30

27	Přijetí neshodného výrobku	1	5	6	30
28	Pozdní chůze lékařské komise	4	5	2	40



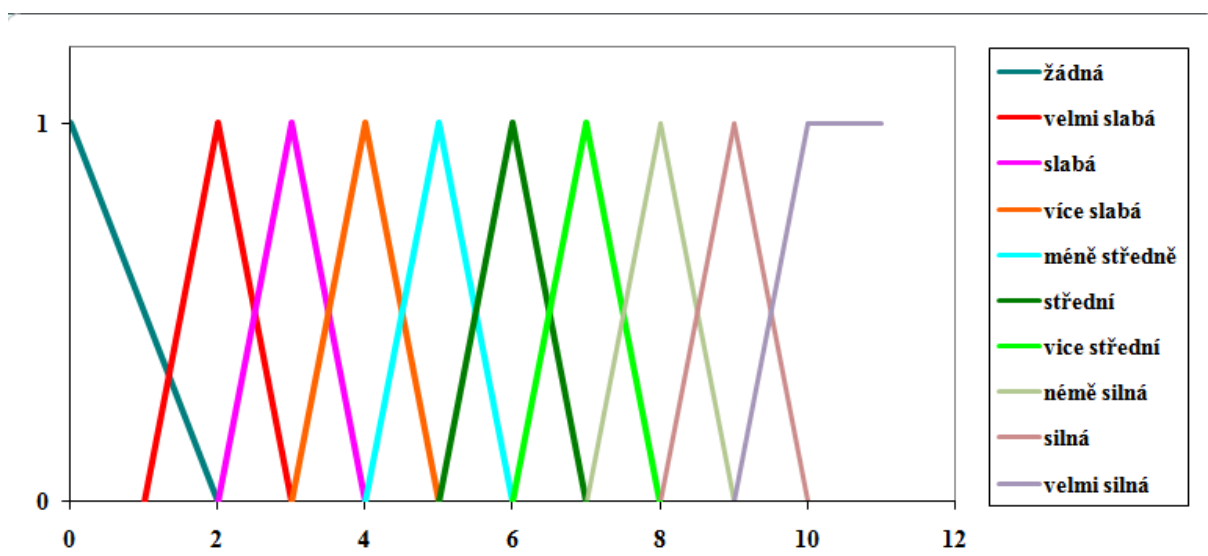
Obrázek 13: Graf znázorňující funkce příslušnosti

Jak lze vidět na obrázku 13 i na obrázku 14 při výstupu RPN byla využita 10-ti úroňová funkce příslušnosti.

Typy selhání fuzzy RPN jsou uvedeny v modelu v sestupném pořadí v tabulce 5 a to ve srovnání s RPN hodnotami klasické metody FMEA. Stejně RPN hodnoty byly uspořádány v souladu s hodnotami výskytu, závažností a pravděpodobností výskytu vady. Průměrná hodnota RPN byla 3,98.[35]

Tabulka 5: Upřednostňování poruchových stavů

Č.	Poruchy	RPN	Stanovení priorit	Fuzzy RPN	Stanovení priorit
1	Pozdě stanovená potřeba	432	1	7,69	1
2	Chybějící identifikace	210	2	7,69	2
5	Špatná identifikace	144	4	6,5	3
8	Dlouhá doba	144	5	6,5	4
19	Pozdější rozhodnutí	192	3	5,49	5
7	Špatná příprava přibližných nákladů	72	8	5,49	6
6	Nepřípustné substance pro konkurenci a porušení pravidel	90	7	5,49	7
25	Nedosažení objednávky dodavatele	48	11	5,49	8
4	Formulář žádosti a technické specifikace jsou dodány pozdě	72	9	5,49	9
18	Nesprávné posouzení	54	10	4,5	10
24	Dlouhá doba	140	6	4,5	11
28	Pozdní chůze lékařské komise	40	12	4,5	12
15	Chybějící informace	16	20	3,39	13
16	Konfliktní výroky o zadávací dokumentaci	16	21	3,39	14
17	Málo času	16	22	3,39	15
12	Souhlas k tomu, aby pracoval bez kompenzace	21	19	3,39	16
22	Žádné přiřazení znalce	14	23	3,39	17
9	Nesprávné řízení výběrového řízení	28	17	3,39	18
10	Úvod administrativních předpisů chybí nebo jsou špatně	30	13	2,5	19
11	Zakazující definice pro konkurenci a přestupek proti předpisům	30	14	2,5	20
26	Pozdní objednávky	30	15	2,5	21
20	Nedostatečné hlášení	12	24	2,5	22
27	Přijetí neshodného výrobku	30	16	2,5	23
23	Neadekvátní výzkum	27	18	2,5	24
3	Kupní formulář špatně vyplněn	6	28	2,5	25
13	Pozdní zavedení	6	25	1,46	26
14	Chybějící číslo	6	26	1,46	27
21	Pozdní oznámení	6	27	1,46	28



Obrázek 14: Výstupní veličina funkce příslušnosti

Shrnutí

Tradiční přístup metody FMEA určuje RPN tím, že vynásobí faktory, které jsou převedeny z pravděpodobnosti nebo stupně výskytu problému, aniž by braly ohled na relativní význam faktorů. Aplikace fuzzy teorie nám umožní odstranit přeměnu a ocenit přímo hodnotící lingvistický odhad faktorů pro získání RPN přiřazením relativních váhových koeficientů. Fuzzy FMEA byla použita s cílem zlepšit proces nákupu ve veřejné nemocnici. Po zavedení metody bylo doporučeno několik nápravných opatření. Pro 20 z 28 poruch byly vytvořeny návrhy na zlepšení, zatímco u zbývajících 8 selhání nebylo navrženo žádné zlepšení.

Výsledky naznačují, že aplikace fuzzy FMEA může vyřešit problémy, které vznikly z konvekční metody FMEA a může efektivně odhalit potenciální druhy poruch. Může také poskytnout stabilitu produktů a procesů. Zde byl uveden příklad, jak může být přístup fuzzy FMEA užitečný pro řízení procesů. Stejně tak ve všech ostatních řídicích procesech v oblasti výroby a služeb.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo využití matematických a statistických metod v oblasti kvality neboť kvalitní výrobek nebo službu si snad přeje každý zákazník. A proto je velice důležité naslouchat zákazníkům a plnit jejich požadavky. V oblasti kvality existuje mnoho matematických tak statistických metod. Tyto metody nám umožňují předcházet vzniku neshodných produktů a služeb a tím dokážou identifikovat příčinu poruchy a tím také snížit výdaje na opravy a případně pozdější reklamace.

Mezi tyto metody například patří metoda FMEA, která má za úkol analyzovat druhy poruchových stavů a jejich důsledky. Druhou metodou může být metoda QFD, což je hodnocení míry vzájemné závislosti mezi znaky jakosti a požadavky zákazníka. Tyto metody lze rozšířit o další možné přístupy. Jeden z těchto přístupů je fuzzy logika, která se poprvé objevila v roce 1965 v článku, jehož autorem byl profesor Lotfi A. Zadeh. Tehdy byl definován základní pojem fuzzy logiky a to fuzzy množina. Slovo fuzzy znamená neostrý, matný, mlhavý, neurčitý, vágní. Odpovídá tomu i to, čím se fuzzy teorie zabývá: snaží se pokrýt realitu v její nepřesnosti a neurčitosti.

Obsahem této diplomové práce bylo popsat a zjistit vývoj přístupu metody FMEA a také metody QFD. Definovat princip těchto metod, jejich vývoj, využití a možné přístupy, které jsou k dispozici.

Další část byla věnována případové studii a to aplikaci přístupu fuzzy logiky pro metodu QFD. Pro příklad byla využita již existující matice QFD svařovacího drátu. Pokud srovnáme klasický a fuzzy přístup k hodnocení QFD dojdeme k závěru, že rozdílnosti zde jsou. Největší rozdíl byl nalezen v pořadí relativních vah dvou znaků jakosti: obsah Si a obsah Al. Možné příčiny rozdílnosti jsou uvedeny výše. Každopádně fuzzy logika je vhodným nástrojem k aplikaci právě v rámci QFD, kde ji lze velmi vhodně použít díky množství lingvistických proměnných.

Jako druhý praktický příklad je zde uvedena aplikace fuzzy logiky do metody FMEA a to do oblasti nákupního oddělení nemocnice v Istanbulu. Účelem bylo zlepšit nákupní proces k redukci času dodání, výdajů a k odstranění zbytečné práce. Nejdříve byla provedena klasická metoda FMEA a poté byl aplikován přístup fuzzy logiky. Výsledky naznačují, že aplikace fuzzy FMEA mohou vyřešit problémy, které vznikly z konvenční metody FMEA a mohou efektivně odhalit potenciální druhy poruch. Tato aplikace může také poskytnout stabilitu produktu a procesu. Přístup fuzzy FMEA je užitečný přístup pro řízení procesů. Stejně tak ve všech ostatních řídicích procesech v oblasti výroby a služeb.

LITERATURA

- [1] Abdelgawad, M., & Fayek, A. R. (2010). *Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136, 1028–1036.
- [2] Bevilacqua, M., Braglia, M., & Gabbrielli, R. (2000). *Monte Carlo simulation approach for a modified FMECA in a power plant*. *Quality and Reliability Engineering International*, 16, 313–324.
- [3] Braglia, M., Fantoni, G., & Frosolini, M. (2007). *The house of reliability*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24, 420–440.
- [4] Dong, C. (2007). *Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24, 958–971.
- [5] DOSTÁL, Petr, Karel REIS a Zdeněk SOJKA. *Pokročilé metody manažerského rozhodování*. Praha: Grada Publishing a.s, 2005. ISBN 80-247-1358-1.
- [6] ERKARSLAN, Önder a Hande YILMAZ. *Optimization of product design through quality function deployment and analytical hierarchy process: case study of a ceramic washbasin*. 2011, s. 22.
- [7] Gandhi, O. P., & Agrawal, V. P. (1992). *FMEA—A diagraph and matrix approach*. *Reliability Engineering & System Safety*, 35, 147–158.
- [8] Geum, Y., Cho, Y., & Park, Y. (2011). *A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach*. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 3126–3142.
- [9] Guimaraes, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2004). *Fuzzy FMEA applied to PWR chemici and volume control system*. *Progress in Nuclear Energy*, 44, 191–213.
- [10] Chang, K. H. (2009). *Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN methodology*. *Microelectronics Reliability*, 49, 1586–1596.
- [11] Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2010). *A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA*. *International Journal of Systems Science*, 41, 1457–1471.
- [12] Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2011). *Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 113–129.
- [13] Chen, L. H., & Ko, W. C. (2009a). *Fuzzy approaches to quality function deployment for new product design*. *Fuzzy Sets and Systems*, 160, 2620–2639

- [14] Chin, K. S., Chan, A., & Yang, J. B. (2008). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 633–649.
- [15] Kahraman, A., Ertay, T., Büyüközkan, G.: *A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach*. 2006.
- [16] Keskin, G. A., & Ozkan, C. (2009). An alternative evaluation of FMEA: Fuzzy ART algorithm. *Quality and Reliability Engineering International*, 25, 647–661.
- [17] Kmenta, S., & Ishii, K. (2004). Scenario-based failure modes and effects analysis using expected cost. *Journal of Mechanical Design*, 126, 1027.
- [18] Kutlu, A. C., & Ekmekcioglu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39, 61–67.
- [19] MÁCHALOVÁ, Jitka. *Prostorově orientované systémy pro podporu manažerského rozhodování*. Praha: C.H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-463-9.
- [20] Novák, V.: *Fuzzy množiny a jejich aplikace*. Praha: SNTL, 1986, 279 s., ISBN 04-002-86
- [21] Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79, 69–85.
- [22] Plura, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: ComputerPress, 2001, 244 s., ISBN 80-7226-543-1
- [23] Rhee, S. J., & Ishii, K. (2003). Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. *Advanced Engineering Informatics*, 17, 179–188.
- [24] Sankar, N. R., & Prabhu, B. S. (2001). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18, 324–336.
- [25] Sant'Anna, A. P. (2012). Probabilistic priority numbers for failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29, 349–362.
- [26] Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N., & Asgharpour, M. J. (2006). Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. *Reliability Engineering & System Safety*, 91, 872–881.
- [27] Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22, 986–1004.

- [28] Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006a). *Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. International Journal of Quality & Reliability Management*, 23, 1047–1066.
- [29] Tay, K. M., & Lim, C. P. (2010). *Enhancing the failure mode and effect analysis methodology with fuzzy inference techniques. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 21, 135–146.
- [30] Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009b). *Risk evaluation in silure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. Expert Systems with Applications*, 36, 1195–1207.
- [31] Xiao, N. C., Huang, H. Z., Li, Y. F., He, L. P., & Jin, T. D. (2011). Multiple silure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. *Engineering Failure Analysis*, 18, 1162–1170.
- [32] Yang, Z., Bonsall, S., & Wang, J. (2008). *Fuzzy rule-based Bayesian reasoning approach for prioritization of failures in FMEA. IEEE Transactions on Reliability*, 57, 517–528.
- [33] Zafiroopoulos, E. P., & Dialynas, E. N. (2005). *Reliability prediction and failure mode effects and criticality analysis (FMECA) of electronic devices using fuzzy logic. International Journal of Quality & Reliability Management*, 22, 183–200.
- [34] Zhang, Z. F., & Chu, X. N. (2011). *Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. Expert Systems with Applications*, 38, 206–214.
- [35] Kumrua, M., Kumru P., Y.(2012). *Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital* 13, 721–733.